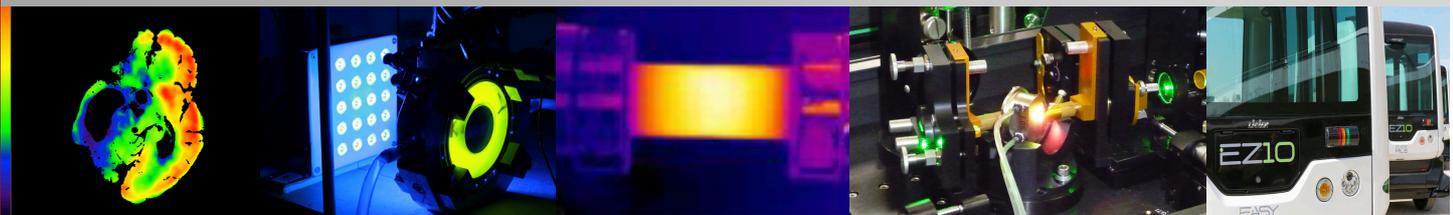




INSTITUT
PASCAL
sciences de l'ingénierie et des systèmes

INSTITUT PASCAL

Bilan & Projet (2017 – 2021)



Editorial	3
Mode de lecture du rapport scientifique	5
1. Bilan de l'Institut Pascal	7
1.1. Présentation de l'Unité	9
1.1.1. Identité de l'Unité	9
1.1.2. Politique scientifique	10
1.1.3. Profil d'activités	12
1.1.4. Organisation fonctionnelle	13
1.1.5. Cartographies	15
1.1.6. Cinq faits marquants	25
1.1.7. Analyse SWOT	26
1.2. Réalisations	28
1.2.1. Axe GePEB	29
1.2.1.1. Présentation générale	29
1.2.1.2. Réalisations scientifiques	43
1.2.2. Axe ISPR	61
Présentation générale	61
1.2.2.1. Thème COMSEE	69
1.2.2.2. Thème PERSYST	78
1.2.2.3. Thème MACCS	86
1.2.2.4. Thème DREAM	96
1.2.3. Axe MMS	101
Présentation générale	101
1.2.3.1. Thème MS	111
1.2.3.2. Thème MMSI	126
1.2.3.3. Thème MPMS	139
1.2.4. Axe PHOTON	145
Présentation générale	145
1.2.4.1. Thème N2	153
1.2.4.2. Thème MINAMAT	163
1.2.4.3. Thème CEM	173
1.2.5. Programme Transversal	183
Présentation générale	183
1.2.5.1. Action MRII	188
1.2.5.2. Action IBP	193
1.2.5.3. Action MP	200
1.2.5.4. Action MMME	205
1.3. Formation par la recherche	209

2. Bilan Thérapies Guidées par l'Image (ISIT/IGCNC/PEPRADE)	213
2.1. Présentation générale du collectif	215
2.1.1. Identité du groupe	215
2.1.2. Organisation fonctionnelle	215
2.1.3. Profil d'activités	217
2.1.4. Cartographies	217
2.1.5. Quatre réalisations majeures	221
2.1.6. Analyse SWOT	222
2.2. Réalisations	222
2.2.1. Thème ALCOV	223
2.2.2. Thème CAVITI	232
2.2.3. Thème IGCNC	247
2.2.4. Thème PEPRADE	261
3. Stratégie et perspectives scientifiques pour le futur contrat	277
3.1. Projet de l'Unité - Stratégie collective	277
3.2. Mise en oeuvre scientifique	283
3.3. Capacités de réalisation	322
3.4. Conclusion générale	328
Annexes Institut Pascal	1 - 416
Annexes ISIT/IGCNC/PEPRADE	1 - 134

Editorial

Pour un observateur extérieur et non averti, le milieu scientifique universitaire pourrait sembler un secteur stable et guère soumis aux aléas du monde extérieur, politique et économique. Il n'en est rien. Un simple regard sur les deux dernières décennies nous démontre qu'il n'a cessé d'évoluer pour faire face aux changements de son environnement. De profonds bouleversements ont été induits, pour répondre notamment à l'exacerbation de la compétition internationale. Sur notre territoire, cela s'est traduit par la création de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), l'autonomie des Universités et la mise en place des PRES ou COMUE, la profonde mutation du CNRS de par son découpage en Instituts plus autonomes, la naissance des pôles de compétitivité, la couverture régionale par les sociétés accélératrices du transfert de technologie (SATT) et les différents guichets des deux vagues du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA).

Pour n'évoquer que les points les plus saillants, signalons deux conséquences. La première, qui induit une profonde mutation des métiers de la recherche académique, concerne la fonte des crédits récurrents et l'adossement maintenant quasi exclusif du financement de la recherche à des appels à projet qu'ils soient locaux, nationaux ou européens. La seconde, encore plus emblématique pour l'avenir, est relative à la cartographie des compétences qui se dessine au plan national. Ainsi, suite à la seconde vague du PIA, nous pouvons imaginer que le pays sera à terme, doté d'une vingtaine de sites classés IDEX ou I-SITE ; fait corroboré par la volonté affichée du CNRS (EPST d'adossement du laboratoire) de concentrer à l'avenir ses moyens sur 20 à 25 sites universitaires.

A son niveau et pour répondre à ces défis, l'Institut Pascal a fait le pari du rassemblement et de la multidisciplinarité sous la forme d'une Unité Mixte de Recherche placée sous la tutelle de l'Université Blaise Pascal, du CNRS et de l'IFMA. Ainsi, sa création en 2012 a matérialisé une volonté collective (*adhésion massive des personnels et un engagement sans faille dans le projet des directeurs des trois laboratoires fondateurs LASMEA, LaMI et LGCB*) de créer un pôle structurant dans le domaine des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes sur le site universitaire clermontois lisible au plan national et international. Ce projet a rassemblé au sein d'une même structure des chercheurs et enseignants-chercheurs rattachés à des domaines disciplinaires relevant des Sciences pour l'Ingénieur (automatique, mécanique, électronique/photonique, génie des procédés) et des Sciences Fondamentales (physique, biochimie). Cette diversité thématique constitue sa véritable richesse. Ainsi, les différents domaines d'excellence disciplinaire créent, sous une même bannière, une masse scientifique visible ainsi qu'un terreau propice aux innovations situées aux frontières disciplinaires. L'Institut Pascal est ainsi particulièrement armé pour participer à la naissance de systèmes et d'objets innovants répondant à des demandes économiques et sociétales avérées.

De par la genèse récente du laboratoire, nous avons choisi de consacrer le présent rapport à la description de l'Institut Pascal depuis sa création au 1er janvier 2012 (les réalisations et les indicateurs de la production scientifique font toutefois référence à la période 2010-2015). Le contenu de ce rapport permet de juger, malgré un passé commun très court (trois ans et six mois), d'un bilan particulièrement positif en terme de publications, rayonnement international et attractivité. Il permet également de voir que la communauté du laboratoire est très active dans les missions d'animation scientifique (GDR, comités d'organisation de conférences, etc.) et qu'elle a su s'inscrire dans le contexte des programmes d'investissements d'avenir par le biais du pilotage du LabEx IMobS³ (mobilité innovante des personnes, des biens et des machines), de son affichage comme noëud national pour la robotique mobile et la robotique de production dans le cadre de l'EquipEx RobotEx piloté par le CNRS ainsi que par sa participation au réseau du LabEx GanEx qui fédère au plan national la communauté des laboratoires travaillant sur les nitrures d'éléments III, type AlInGaN. Ce rapport présente également un bilan positif au niveau du programme transversal qui regroupe des actions interdisciplinaires dont certaines s'inscrivent entre des communautés scientifiques jusque là étanches.

Le futur proche du laboratoire se décline dans le contexte de la fusion des deux Universités clermontoises qui sera effective au 1er janvier 2017 et donnera naissance à l'Université Clermont-Auvergne, ainsi que du rapprochement des deux écoles d'ingénieur d'adossement que sont l'IFMA et l'ENSCCF au 1^{er} janvier 2016. Le projet de l'Institut Pascal mentionne la naissance d'un cinquième Axe scientifique avec l'arrivée de membres de l'Université d'Auvergne travaillant sur la thématique des "thérapies guidées par l'image". Ainsi, l'Institut des Sciences de l'Image pour les Techniques Interventionnelles (ISIT - UMR 6284 CNRS) qui dépend également de l'INSIS-CNRS rejoint l'Institut Pascal et clôturera la restructuration des forces clermontoises relevant de cet institut national.

Les autres éléments notables du contexte sont multiples. Nous nous devons d'évoquer la réforme territoriale en cours qui associe les régions Auvergne et Rhône-Alpes donnant naissance à la seconde région française et à la 7^{ième} européenne en terme de PIB. Nul doute que le positionnement stratégique du laboratoire doit s'inscrire dans cette nouvelle donne et reposer sur des liens préférentiels et ciblés avec les acteurs lyonnais, grenoblois ou stéphanois. Nous devons aussi mentionner la Stratégie de Spécialisation

Intelligente (S3) de la région Auvergne et notamment les domaines d'innovation stratégiques que sont les systèmes intelligents et performants, les espaces de vie durables, les systèmes agricoles durables et la prévention pour la santé et le confort de vie qui interrogent les thématiques scientifiques du projet de l'Institut Pascal. Le Contrat de Projet État-Région (CPER) par le biais de l'Axe MMAyF "Mobilités, Matériaux et Systèmes du Futur" fait de même. Enfin, il nous faut terminer par le projet I-SITE "CAP-2025", qui dessine les contours de l'avenir de la place universitaire clermontoise (dossier retenu parmi les trois lauréats admis à concourir pour la seconde phase sur les treize déposés) et où l'Institut Pascal se retrouve plongé au cœur de l'Axe Sciences pour l'Ingénieur. Un des points forts de ce dossier est le lien étroit avec le monde socio-économique qui impacte le laboratoire par la mise en place d'un laboratoire commun avec la Manufacture Française des Pneumatiques Michelin sur la thématique de l'Usine du Futur. Ce contexte prospectif extrêmement riche est sans nul doute particulièrement favorable au projet de l'Institut Pascal.

En conclusion et sans occulter les difficultés de faire naître un véritable sentiment d'appartenance à une structure unique (les expériences précédentes tentent à prouver qu'une période de dix ans est nécessaire) et les difficultés de mise en place d'un mode de fonctionnement parfaitement adapté à la taille, la spécificité des différentes disciplines et à la situation géographique multi-sites, le pari de l'Institut Pascal est, d'ores et déjà, réussi à l'issue de ces 42 premiers mois. La principale richesse du laboratoire réside dans les compétences et dans l'implication, jamais démentie, de l'ensemble de ces personnels. Nul doute dans ce contexte favorable, qu'une volonté partagée par tous permettra d'établir durablement le renom de l'Institut Pascal.

Mode de lecture du rapport scientifique

☛ Structuration générale

L'Institut Pascal (UMR Université Blaise Pascal/CNRS/IFMA 6602) et les groupes ISIT (UMR Université d'Auvergne (UdA)/CNRS 6284), IGCNC (EA UdA 7282), PEPRADE (EA UdA 4681) se rassemblent pour présenter un projet commun de laboratoire pour 2017-2021. Cette nouvelle unité prendra le nom d'Institut Pascal.

Le document est structuré en trois parties.

La [section 1](#) décrit le [bilan scientifique 2010-2015 de l'Institut Pascal](#).

La [section 2](#) décrit le [bilan scientifique 2010-2015 des groupes ISIT/IGCNC/PEPRADE, rassemblés sous Thérapies Guidées par l'Image](#).

La [section 3](#) décrit le [projet 2017-2021 du laboratoire Institut Pascal](#) avec la présentation d'un 5e Axe "Thérapies Guidées par l'Image" porté par le regroupement avec l'ISIT/IGCNC/PEPRADE.

☛ Détails des sections

Section 1 : Bilan de l'Institut Pascal

Cette section est structurée selon les niveaux d'évaluation demandés pour l'Institut Pascal : évaluation du collectif, évaluation par Axe du laboratoire : Axe MMS, Axe ISPR, Axe GePEB, Axe PHOTON.

La [section 1.1](#) décrit le collectif Institut Pascal. L'UMR Institut Pascal a été créée au 1er janvier 2012. Le collectif est ici décrit sur la période 2012-2015 pour toutes les données de gestion et d'administration, mais fait état des productions scientifiques sur 2010-2015. Les réalisations ont été initiées pour la plupart au sein des laboratoires LaMI, LASMEA et LGCB, fondateurs de l'Institut Pascal. Les personnels de l'Institut Pascal ont souhaité ne pas occulter les deux années 2010-2012 pour être évalués sur une pleine période quinquennale.

La [section 1.2](#) des *Réalisations* est déclinée selon les quatre Axes scientifiques du laboratoire. Les Axes sont présentés avec une entête rassemblant les données nécessaires à leur appréciation. Les thèmes d'Axe sont ensuite décrits avec une démarche identique : identité scientifique, contexte, réalisations, données factuelles d'analyse de production / rayonnement / attractivité / valorisation / interactions avec l'environnement / swot.

Rappel : Les indicateurs de production scientifique s'entendent pour 2010 et 2011 comme signataires des LaMI, LASMEA et LGCB, et comme Institut Pascal pour 2012-2015.

La [section 1.3](#) regroupe les actions liées à la Formation. Cependant, elles sont aussi rappelées en section 1.2 par Axe pour leur évaluation.

Section 2 : Bilan Thérapies Guidées par l'Image (ISIT/IGCNC/PEPRADE)

Le groupe ISIT/IGCNC/PEPRADE demande une évaluation globale.

La [section 2.1](#) décrit le collectif Thérapies Guidées par l'Image (ISIT/IGCNC/PEPRADE).

La [section 2.2](#) des *Réalisations* est déclinée selon les quatre thèmes scientifiques du collectif : ALCOV, CAVITI, IGCNC, PEPRADE. Ces thèmes sont décrits avec une démarche identique de celle utilisée en section 1.2.

☛ Livret des Fiches Scientifiques

Nous avons choisi d'illustrer les principaux faits scientifiques sous la forme de fiches synthétiques. Elles sont rassemblées dans un fascicule qui a été envoyé sous forme imprimé aux membres du Comité d'Evaluation HCERES. Elles proposent un double niveau de lecture : rapide par le résumé, les figures significatives et la mention des indicateurs de diffusion et de réalisation (articles significatifs, contrats, doctorants formés), ou une lecture plus approfondie sur la totalité de la fiche. Des fiches décrivent également sur le même principe des actions ou des programmes significatifs. Les fiches préfigurent le format du livret annuel des *Highlights* que l'Institut Pascal souhaite éditer à partir de 2016 pour une lecture à l'internationale via une impression papier et le site web (les fiches sont donc en anglais). Ce livret contient les réalisations de l'Institut Pascal et du collectif Thérapies Guidées par l'Image.

1. Bilan de l'Institut Pascal

1.1. Présentation de l'Unité

1.1.1. Identité de l'Unité

L'Institut Pascal UMR 6602 CNRS/UBP/IFMA, né le 1^{er} janvier 2012, matérialise la volonté collective de créer un pôle structurant dans le domaine des **Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes** sur le site universitaire clermontois, lisible au plan national et international et résolument orienté vers l'innovation et le monde socio-économique. La création de l'Institut Pascal est l'aboutissement du cheminement des acteurs clermontois du secteur Ingénierie et Systèmes, débuté il y a plusieurs années et visant à la structuration des forces vives du domaine pour une visibilité nationale et internationale accrue.

Dès 1999, un groupe de chercheurs du site a choisi de travailler sur des projets interdisciplinaires aux interfaces de l'informatique, de la mécanique, de l'automatique et du génie des procédés. Ceci a donné naissance à l'Axe de recherche MSPI (Machines et Systèmes Performants et Intelligents) du Contrat de Plan Etat Région Auvergne 2000-2006. Ainsi, quatre laboratoires de recherche se sont associés. Leurs activités sous-jacentes relevaient des thématiques de la mécanique, de l'électronique, de l'automatique et de l'informatique.

Les laboratoires impliqués étaient le :

- LaMI (Laboratoire de Mécanique et Ingénierie – UBP / IFMA)
- LIMOS (Laboratoire d'Informatique, Modélisation et Optimisation des Systèmes – UMR UBP / CNRS)
- TSCF (Technologies et Systèmes d'informations pour l'agriculture et l'agro-alimentaire – Cemagref)
- LASMEA (Laboratoire des Sciences et Matériaux pour l'Electronique, et d'Automatique (UMR UBP / CNRS)

et trois thèmes de recherche étaient alors affichés :

- Conception, modélisation et validation des machines et des systèmes
- Capteurs et actionneurs pour les machines et les systèmes
- Systèmes d'information et de décision des machines et des systèmes.

En 2003, de manière unilatérale, la Région Auvergne décide la création de "Grands Projets de Recherche". Ainsi, l'Axe MSPI devient l'Axe "Auverfiabilis". Dans cette mouvance, les quatre laboratoires décident de renforcer l'affichage de leur partenariat et de donner naissance à la Fédération de Recherche TIMS (Technologies de l'Information, de la Mobilité et de la Sécurité). En 2004, cette fédération obtient sa reconnaissance et sa labellisation d'une part du Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie (sous la forme d'un plan pluri-formations - PPF) et d'autre part du CNRS (Fédération de Recherche FR 2856). Elle a alors pour objectif principal affiché la structuration du potentiel clermontois en Sciences de l'Ingénieur.

Pour cela, deux Projets de Recherche sont collectivement élaborés :

- V2I Véhicules et Infrastructures Intelligents
- M2I Machines et Mécanismes Innovants

ainsi que quatre Groupes de Travail Thématiques :

- MIM Matériaux pour l'Information et la Mobilité
- MSSF Méthodes Stochastiques pour la Sécurité de Fonctionnement
- MIT Méthodologie pour l'Innovation Technologique
- SCP Systèmes Complexes de Production.

En 2006, un renforcement de la Fédération TIMS dans le domaine de l'informatique est opéré. De ce fait, deux nouveaux partenaires sont associés :

- LAIC (Laboratoire d'Algorithmique et d'Informatique de Clermont-1 – Université d'Auvergne)
- LISC (Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Complexes - Cemagref)

et 3 nouveaux projets sont lancés :

- MLSVP : Modèles et Logiciels pour la Santé, le Vivant et le Physique
- TICOD : Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Organisation et la Décision
- MP2C : Matériaux et Procédés : Conception et Caractérisation.

En 2007, le nouveau contrat de projet Etat/Région Auvergne se met en place. La fédération se retrouve acteur majeur d'un des projets retenus pour la période 2007-2013. Ce dernier, dénommé **Innov@Pôle** (coordinateur Michel Dhome), rassemble des chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants issus de quinze laboratoires et rattachés à des domaines disciplinaires relevant des Sciences pour l'Ingénieur

(informatique, automatique, mécanique, génie des procédés) et des Sciences Fondamentales (mathématiques, physique, chimie). Son efficacité repose sur un potentiel d'un demi-millier de chercheurs. Recherche Amont et Recherche Appliquée s'articulent en deux volets complémentaires :

- Volet ITSI : Informatique et Télécommunications pour les Services et l'Industrie : nouvelles activités et nouveaux services en matière de NTIC
- Volet SM2I : Systèmes, Mécanique et Matériaux Innovants : mobilité des personnes, des biens et des informations ; production, mise en œuvre et durabilité des matériaux et biomatériaux.

au sein desquels les 5 projets de la fédération TIMS déjà cités (V2I, M2I, MLSVP, TICOD et MP2C) se retrouvent logiquement affichés.

Par le biais de ces deux entités complémentaires et imbriquées, Fédération TIMS et Projet InnovPôle, les acteurs du LaMI, LASMEA, LGCB se côtoient, interagissent sur des objets d'intérêt communs et font collectivement et annuellement des choix sur les actions à soutenir financièrement.

Nouvelle étape en 2009, quand le PRES Clermont Université organise les Assises Clermontoises de la Recherche. L'objectif de ces dernières consiste en l'établissement d'un bilan et diagnostic en matière de recherche sur le site, fondé sur l'ensemble des évaluations précédentes et une phase d'examen par des experts scientifiques extérieurs afin d'établir un état objectif du potentiel de recherche secteur par secteur et afficher des propositions d'action et de structuration. A l'issue des travaux (septembre 2009), des recommandations sont énoncées. Voici pour le secteur ST2I Sciences et Techniques de Informations et de l'Ingénierie un extrait du rapport final : "il s'avère nécessaire de regrouper encore mieux les forces en présence en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (LASMEA, LIMOS, TCSF-Cemagref), en Mécanique (LAMI) et en Génie des Procédés (LGCB) qui représentent en l'état une communauté de 500 personnes, en une Fédération des Sciences et Technologies de l'Information et de l'Ingénierie (Fédération ST2I). Ces 5 entités constituent de fait le premier cercle ou noyau dur de laboratoires qui couvrent un large spectre des forces principales et complémentaires en ST2I. Il est évident que c'est une chance pour l'ensemble du site universitaire clermontois, de taille moyenne, de posséder un tel potentiel dans le domaine des ST2I".

Fin 2009, début 2010, la réforme du CNRS qui induit le remplacement des Départements Scientifiques par des Instituts, provoque la disparition du secteur ST2I et la création de deux instituts distincts aux intersections et interactions non vides : INS2I Informatique et ses interactions d'une part et INSIS Ingénierie et Systèmes d'autre part. Cette structuration au niveau national a impacté les réflexions locales. Il est vite apparu malheureusement qu'une structuration à l'échelle du secteur ST2I dans son ensemble n'était pas envisageable.

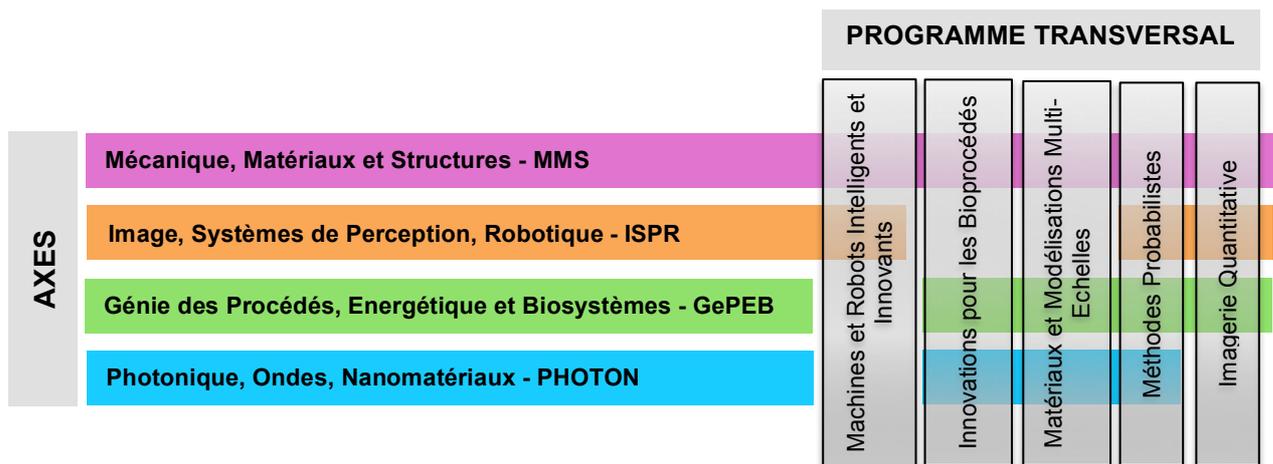
Les membres du LaMI, du LASMEA et du LGCB (ensemble des forces de l'Université Blaise Pascal relevant du périmètre de l'institut INSIS) décident néanmoins de travailler sur un projet structurant commun. L'ébauche ayant rapidement reçu l'aval des trois tutelles potentielles que sont le CNRS, l'Université Blaise Pascal (UBP) et l'Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA), le projet se finalise pour déboucher sur la genèse de l'Institut Pascal.

Il faut préciser que pour l'Institut INSIS-CNRS, l'Institut Pascal est perçu comme l'aboutissement de la Fédération de Recherche TIMS.

1.1.2. Politique scientifique

L'Institut Pascal (UMR 6602 CNRS/UBP/IFMA) résulte de la volonté de rassemblement au sein d'une même structure des chercheurs, enseignants-chercheurs, techniciens et doctorants des laboratoires LaMI (EA UBP/IFMA 3867), LASMEA (UMR CNRS/UBP 6602) et LGCB (EA UBP 3866), rattachés à des domaines disciplinaires relevant des Sciences pour l'Ingénieur (automatique, mécanique, électronique, génie des procédés) et des Sciences Fondamentales (physique, biochimie). Cette diversité thématique et le souci d'ouverture constituent la véritable richesse de ce projet. Les différents domaines de la recherche disciplinaire d'excellence développée au sein de l'Institut Pascal (≈ 300 personnes) créent une masse critique et un terrain propice pour une véritable synergie pluridisciplinaire d'où naissent des systèmes et des objets technologiques innovants répondant à des demandes économiques et sociétales. Ceci s'inscrit dans une démarche volontariste pour des actions de valorisation et de transfert afin de donner réellement corps au triptyque Formation – Recherche – Valorisation.

Le cœur d'excellence scientifique de cette nouvelle entité peut être synthétisé en quatre Axes Thématiques. Ces expertises reconnues sont à l'origine d'Actions Transdisciplinaires ambitieuses regroupées dans le cadre du Programme Transversal.



Les Axes Scientifiques

Les Axes thématiques sont le lieu d'expression des expertises de coeur scientifique de l'Institut Pascal. Ils reprennent le découpage disciplinaire des laboratoires fondateurs et correspondent à la granulométrie choisie pour l'expertise HCERES. Ils sont au nombre de quatre :

- **Axe Mécanique, Matériaux et Structures (MMS) - Sections CNU60, CNU61 et CN09**

Cet Axe développe ses recherches dans trois grandes directions relevant du secteur des Sciences Pour l'Ingénieur (SPI) : (1) matériaux et structures, (2) mécanique probabiliste des structures et (3) machines, mécanismes et systèmes :

- le premier volet s'intéresse aux problèmes de modélisation et d'expérimentation liés à l'étude du comportement des matériaux et des structures dans les domaines de la mécanique et du génie civil. Ses thèmes privilégiés d'étude actuels sont : (1) les mesures de champs en mécanique des solides, (2) les matériaux naturels et bio-sourcés, et (3) l'analyse multi-échelles appliquée aux matériaux hiérarchisés, continus ou discontinus et aux structures multi-corps ou multi-matériaux.
- le second volet Axe ses recherches sur les problèmes de dynamique stochastique et de fiabilité liés à la prise en compte de l'incertain dans la modélisation, la conception et l'exploitation des matériaux et des structures relativement aux domaines de la mécanique et du génie civil. Ses thèmes privilégiés d'étude actuels sont (1) les algorithmes de calcul stochastique et (2) l'identification probabiliste des modèles et des données.
- le dernier volet est centré sur une approche transdisciplinaire et repose sur des développements méthodologiques d'innovation, de modélisation et d'optimisation des machines, mécanismes et robots. Ses grands thèmes d'étude actuels sont (1) la synthèse structurale et l'innovation, (2) la modélisation du comportement réel des mécanismes, des machines et des robots, (3) l'excellence opérationnelle des machines et systèmes de production.

- **Axe Image, Systèmes de Perception, Robotique (ISPR) - Sections CNU61 et CN07**

Cet Axe œuvre dans le domaine de la Perception et de la Vision Artificielles pour la Commande des Systèmes Robotiques. Son objectif est donc le développement de concepts théoriques, méthodologiques et architecturaux pour la perception et le contrôle des systèmes. Les points forts reconnus sont :

- les architectures matérielles et logicielles pour la perception artificielle ;
- l'étalonnage de capteurs de précision et reconstruction 3D sans contact d'objets rigides ou déformables ;
- la reconnaissance automatique et le suivi en temps réel de motifs visuels ;
- la localisation absolue de véhicules mobiles (tout type d'environnement) et cartographie automatique ;
- la modélisation et commande de systèmes robotiques ;
- la navigation autonome de systèmes robotiques.

- **Axe Génie des Procédés, Energétique et Biosystèmes (GePEB) - Sections CNU62,64,65 et CN10**

Cet Axe traite de problématiques qui appartiennent au génie des bioprocédés (génie fermentaire, génie des procédés de l'environnement, génie alimentaire) en réconciliant les deux approches convergentes suivantes :

- l'analyse des processus biochimiques et chimiques ;
- l'analyse des processus physiques et physico-chimiques.

Il s'agit avant tout d'une approche multi échelle où les caractéristiques « procédé » sont abordées dans une optique de modélisation, c'est-à-dire de compréhension, des phénomènes en allant des échelles intracellulaires (étude des flux métaboliques par exemple) à la simulation de procédés intégrés utilisant la matière vivante.

- **Axe Photonique, Ondes, Nanomatériaux (PHOTON) - Sections CNU28,63 et CN08,03**

Cet Axe rassemble des théoriciens de la physique des semi-conducteurs et de l'optique électromagnétique, et des expérimentateurs en synthèse, structuration et analyses fines à haute technologie avancée. Le groupe est leader international sur la manipulation de la lumière et le contrôle de son couplage à la matière en microcavités et nanostructures. L'application phare est le laser à polaritons à faible seuil. D'autre part, le groupe fait état d'expertises expérimentales uniques sur le territoire français dans le domaine de la synthèse et de la structuration de microsystèmes capteurs et de nano-objets présentant des rapports de forme qui dépassent l'état de l'art mondial en 2010. Enfin, cet Axe possède en son sein une expertise recherchée en modélisation et expérimentation en compatibilité électromagnétique.

Le Programme Transversal

Le Programme Transversal est le liant entre les Axes de l'Institut Pascal. Il rassemble les actions de recherche développées aux interfaces disciplinaires de l'IP, qui se veulent terreaux propices à des avancées scientifiques et applicatives tirant partie de synergies entre les sections des secteurs Sciences pour l'Ingénieur et Physique présents au laboratoire. Les actions retenues relèvent d'une réflexion commune qui s'est tenue suite à la décision de créer l'institut. En 2012, elles étaient prévues au nombre de cinq :

Action Machines et Robots Intelligents et Innovants : Cette action est centrée sur une approche transdisciplinaire regroupant principalement les Axes MMS et ISPR, et qui a pour objectif de développer des machines, robots, véhicules et systèmes automatisés hautement performants fondés sur l'innovation scientifique et technologique dans les domaines de la mécanique, de la perception et de l'automatique ainsi que sur la maîtrise du comportement réel de ces systèmes.

Action Innovations dans les BioProcédés : Elle vise à associer le développement d'outils technologiques de pointe à des études originales plus fondamentales au service d'innovations dans le domaine des bioprocédés tels que l'optimisation de la production de vecteurs énergétiques renouvelables, l'élaboration de capteurs chimiques et biologiques et l'influence des ondes électromagnétiques sur des organismes vivants.

Action Matériaux et Modélisations Multi-Echelles : Cette action transdisciplinaire de l'Institut Pascal vise à apporter des réponses originales et bien fondées sur les particularités du comportement multi-échelle des matériaux et systèmes composites, photoréactifs, électrochimiques, nanophotoniques et éco-matériaux, en vue d'applications à caractère innovant.

Action Méthodes Probabilistes : Beaucoup de modèles développés ou utilisés au sein de l'Institut Pascal dépendent de paramètres au caractère aléatoire avéré. L'objet de cette action est de prendre en compte cette réalité par le biais de formulations probabilistes appropriées. Pour chaque modèle concerné, il s'agit alors de mettre en place un cadre probabiliste adapté et d'y développer les outils numériques nécessaires.

Action Imagerie Quantitative : Cette action vise à la mise en œuvre de capteurs de mesure par vision afin d'observer des phénomènes et permettre de bien comprendre l'évolution des systèmes étudiés puis, à partir des images acquises, d'en extraire une information permettant de quantifier les phénomènes observés pour modéliser au mieux leurs lois d'évolution.

1.1.3. Profil d'activités

La majorité de l'activité de l'Institut Pascal est tournée vers la recherche académique (moyenne globale 62,5 %). Toutefois, la nature des activités des Axes de l'Institut est plus ou moins proche du monde socio-économique avec un impact variable sur le transfert de compétences (moyenne du laboratoire 15 %). Les

Axes MMS et ISPR sont les plus actifs dans ce domaine. Les fonctions d'appui à la recherche qui regroupent les actions liées à l'animation de la communauté universitaire et scientifique, le pilotage, la stratégie et l'expertise scientifique locale ou nationale reposent essentiellement sur les membres sénior du laboratoire et sont estimées à 5 % de l'activité globale. La formation par la recherche concerne l'encadrement des doctorants et des Masters recherche. Les pourcentages mentionnés dans le tableau ci-dessous reflètent les taux d'encadrement très différents (rapport nombre de doctorants vs nombre de permanents) d'un Axe à l'autre.

Unité/Axe	Recherche académique	Interactions avec l'environnement	Appui à la recherche	Formation par la recherche	Total
Ensemble de l'Unité	67,5	15	5	12,5	100 %
dont Axe MMS	60	20	5	15	100 %
dont Axe ISPR	55	20	5	20	100 %
dont Axe GePEB	75	10	5	10	100 %
dont Axe PHOTON	80	10	5	5	100 %

1.1.4. Organisation fonctionnelle

La structuration de l'Institut Pascal repose sur les principaux éléments suivants :

Direction de l'unité : Elle est composée du Directeur, secondé par un Directeur Adjoint, poste rendu nécessaire de par la taille et l'empan scientifique de la structure. La Direction a pour mission l'incitation à l'excellence scientifique, la représentation envers les tutelles et les divers partenaires, la proposition des choix stratégiques, les arbitrages finaux le cas échéant et bien sûr l'exécutif général du laboratoire. Elle œuvre à offrir à l'ensemble des membres du laboratoire un cadre de travail propice à l'épanouissement, veille aux intérêts généraux du laboratoire, surveille particulièrement les équilibres internes pour faciliter et renforcer la cohésion de l'ensemble et trace les grandes lignes stratégiques.

Directoire : Le directoire est composé du Directeur, du Directeur Adjoint, des Responsables des Axes, du gestionnaire du laboratoire et d'un représentant du personnel technique. Il est le lieu d'échange pour la gestion au quotidien des affaires courantes du laboratoire. Il se réunit hebdomadairement afin de permettre la circulation rapide de l'information, d'instruire les dossiers et de décider des affaires courantes. Il est le lieu privilégié de dialogue et de concertation entre la direction, les Axes et le service administratif. Les responsables des Axes et le gestionnaire du laboratoire doivent relayer les informations et demandes en provenance de la direction respectivement vers les Axes et le service administratif. Par ce biais, ils peuvent également, au fil de l'eau, relayer les problèmes ou questions rencontrés par la base. Un compte rendu est systématiquement rédigé à chaque réunion et est diffusé à l'ensemble des membres du laboratoire.

Responsables des Axes scientifiques : La coordination de chacun des Axes scientifiques, cœur d'expertise du laboratoire, est confiée à un Responsable assisté d'un Responsable Adjoint. Le responsable a en charge la représentation de l'Axe, l'animation scientifique à l'échelle de l'Axe, la réflexion sur la mise en place et le suivi de projets fédérateurs internes, le suivi administratif (rapport d'activité, bilan de la production, rédaction de documents divers), la gestion des ressources financières et humaines affectées à l'Axe. Le Responsable est le chaînon indispensable entre la direction et les membres de l'Axe.

Bureaux des Axes scientifiques : Chaque responsable d'Axe s'appuie sur un bureau afin de gérer les affaires courantes relatives à l'Axe et faire descendre et remonter les informations vis à vis des différentes thématiques.

Suivi et représentation du programme transversal : Dans le schéma de l'Institut Pascal, le programme transversal apparaît comme le véritable liant entre des Axes relevant de thématiques scientifiques distinctes. La cohésion de la nouvelle structure passe inévitablement par le succès de ce programme. Il est ainsi apparu, de par l'enjeu sous-jacent, que son suivi et sa représentation au sein du Directoire devaient rester de la responsabilité de la direction. Cette tâche stratégique est confiée au directeur adjoint.

Coordination des actions transdisciplinaires : Chacune des actions transdisciplinaires a été placée sous la responsabilité d'un Coordinateur. Chaque Axe impliqué est représenté par un Correspondant qui doit informer son responsable d'Axe, des avancées réalisées et des différentes actions entreprises.

Gestionnaire : Le gestionnaire de laboratoire a en charge l'organisation et la supervision du service administratif et financier du laboratoire. Ce service est constitué de 9 agents au total. Le gestionnaire est, au plan financier et administratif, le chaînon principal des relations entre le laboratoire, les tutelles (UBP, CNRS et IFMA) et les différents partenaires.

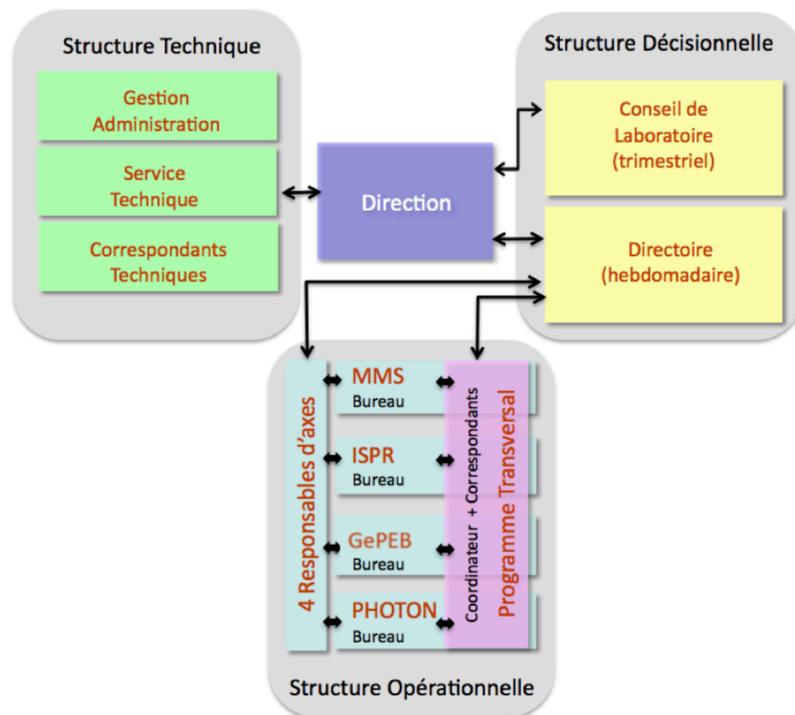
Conseil de laboratoire : Le conseil de laboratoire est composé de deux membres de droit (Directeur et Directeur adjoint), de 12 membres élus représentant des catégories socioprofessionnelles du laboratoire (Enseignants-Chercheurs et Chercheurs, ITA/IATOS, Doctorants) et de 6 membres nommés. Son rôle statutaire en fait le lieu privilégié de consultation concernant les grandes orientations politiques du laboratoire et l'affectation des moyens (humains et financiers). Il se réunit au moins une fois par trimestre.

Assemblée générale : Une assemblée comprenant tous les personnels de l'Unité est réunie au moins une fois par an pour évoquer les principaux dossiers relatifs à la vie de l'unité. Elle peut aussi être réunie extraordinairement si l'actualité du laboratoire le nécessite.

Correspondants Techniques : Un ACMO (Agent Chargé de la Mise en Oeuvre des règles d'hygiène et de sécurité) a été nommé sur chacun des trois sites clermontois de l'Institut Pascal. Un COFO (COrrispondant FOrmation) et un Correspondant Communication sont nommés comme le stipule le règlement du CNRS.

Comité local Hygiène et Sécurité : Il traite des questions relatives à l'hygiène et la sécurité. Ce comité constitué de la Direction et des ACMO du laboratoire se réunit une fois l'an pour étudier et suggérer des améliorations des conditions d'hygiène et de sécurité. Il est à l'origine de l'actualisation annuelle du document unique.

Globalement le schéma de décision et de circulation de l'information correspond à la figure suivante :

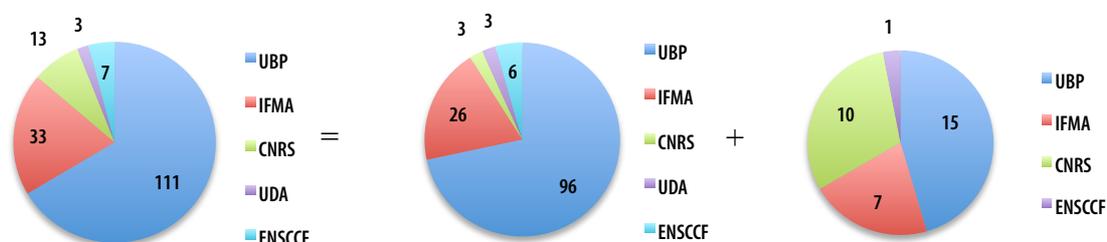


1.1.5. Cartographies

Personnels

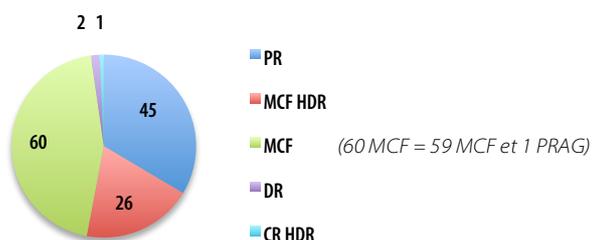
Personnels permanents

L'Institut Pascal est unité mixte de l'UBP, du CNRS et de l'IFMA. Les personnels permanents, pour un total de 167 toute catégorie professionnelle confondue au 30/06/2015, sont répartis comme suit selon les trois tutelles et les établissements employeurs des enseignants-chercheurs du site clermontois pour lesquels les recherches sont inscrites à l'Institut Pascal (Université d'Auvergne (UDA) et Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Clermont-Ferrand (ENSCCF)) :



(à gauche : toute catégorie professionnelle confondue (167) ; au centre : personnels enseignants-chercheurs et chercheurs (134) ; à droite : personnels BIATSS/ITA (33, dont 9 administratifs - on note que 8 BIATSS sont affectés en mission partielle à l'IP (ETP variant de 20% à 50%))

55,2% (74 sur 134) des personnels enseignants-chercheurs et chercheurs sont HDR :



13 HDR ont été soutenues sur la période 2012-2015.

18 enseignants-chercheurs/enseignants sont associés aujourd'hui à l'Institut Pascal :

PR	MCF	PRAG/PAST	PR Emérites	Autres
1	5	3	7	2

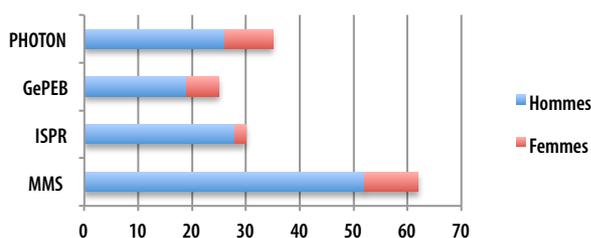
La qualité d'associé est accordé aux enseignants-chercheurs en demande de mobilité de laboratoire et/ou de reconversion thématique au sein de leurs établissements, qui proposent un projet de recherche devant le Conseil de Laboratoire de l'IP. Au bout de douze mois, le Conseil examine les conditions d'accueil et les réalisations des EC associés pour une validation définitive de leur entrée dans l'Unité. Les 7 PR Emérites sont associés du laboratoire (leur demande d'Eméritat est validée par la Direction du laboratoire et par les Conseils des tutelles, révisée tous les deux ans).

La répartition des personnels EC, C et BIATSS/ITA affectés à la recherche en fonction des Axes est la suivante :

	# PR	# MCF HDR	# MCF (dont 1 PRAG)	# DR CNRS	# CR HDR CNRS	# BIATSS/ITA	
MMS	16	12	29			8 *	65
ISPR	8	4	11	1	1	4	29
GePEB	8	2	12			3 **	25
PHOTON	13	8	8	1		5	35
	45	26	60	2	1	20	154
						ETP	82

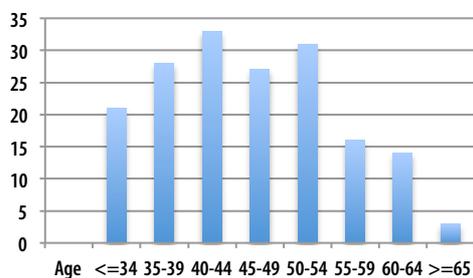
* : ETP = 2,75 - ** : ETP = 2,5

Il est intéressant à l'heure où des campagnes de promotion des métiers scientifiques envers les femmes sont par exemple menées par le CNRS, d'avoir le ratio des femmes/hommes de l'Institut Pascal (personnels EC, C et BIATSS/ITA affectés à l'activité de recherche) :



Les femmes représentent 21,6% du personnel recherche du laboratoire, taux qui place l'Institut Pascal au ratio national CNRS (environ 20%). On notera ainsi une présence remarquable des femmes sur les sections CNU 60 et 63 (CN 08 et 09) à charge masculine plus importante sur le territoire national.

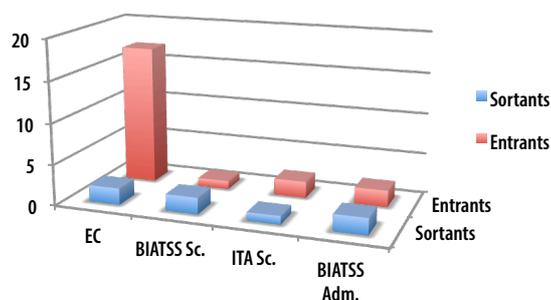
L'âge moyen des personnels est de 45 ans (tout personnel permanent) :



La pyramide des âges montre une belle dynamique des personnels de moins de 50 ans (un peu plus de 60% des personnels, 28% ont moins de 40 ans), expliquée par le bon niveau de recrutements ou remplacements des personnels sortant retraités sur 1990-2005 sur les trois laboratoires fondateurs de l'Institut Pascal, et des entrées MCF et personnels techniques significatives sur 2012-2015 à l'IP :

2012 - 2015	Sortants	Entrants
EC	2 1 UBP, 1 IFMA	13 par recrutement 10 UBP, 2 IFMA, 1 ENSCCF 4 par mobilité interne UBP
BIATSS scien.	2 1 UBP, 1 IFMA	1 UBP
ITA scien.	1 CNRS	2 CNRS
BIATSS adm.	2 1 UBP, 1 IFMA	2 1 UBP, 1 IFMA

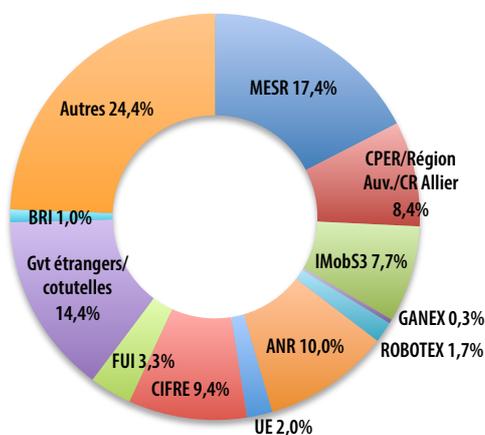
Les trois tutelles ont contribué au



renouvellement des personnels depuis 2012 : deux ingénieurs de recherche CNRS ont été recrutés suite au départ à la retraite de deux IR du laboratoire LASMEA, le CNRS a maintenu ses forces d'appui à la recherche dans la nouvelle structure. Treize jeunes entrants MCF ont rejoint le laboratoire sur recrutement : 1 CNU28, 6 CNU60, 3 CNU61, 2 CNU62 et 1 CNU64. L'Institut Pascal a par ailleurs accueilli quatre EC par mobilité interne à l'UBP (changement de laboratoire, 4 MCF CNU63). Il est à noter que quatre recrutements sont féminins sur les 60 et 61e sections. La question du renouvellement des personnels s'annonce cruciale pour la décennie à venir : 13 personnels ont plus de 60 ans, dont 11 EC, 1 IR (UBP) et 1 personnel administratif (UBP). Il est vital pour l'Institut Pascal de conserver ses forces humaines par le biais des concours MCF, d'autant plus que l'IP est porteur de projets ambitieux et structurants du site clermontois (voir section 3 de ce rapport). La vocation d'un établissement universitaire et d'un laboratoire n'est pas de promouvoir en interne tous les MCF HDR, mais un équilibre doit être maintenu entre l'entrée de nouveaux cadres PR et le renforcement de la place de jeunes MCF HDR de talent dont on veut qu'ils soient acteurs de l'avenir du laboratoire et des établissements. Enfin, un des gros handicaps de l'Institut Pascal est son nombre très faible de chercheurs à temps plein : cela sera rappelé dans la description des actions de recherche de l'unité et de leurs capacités de réalisation, il est pénalisant de n'avoir aucun CR ou DR dans une équipe. L'Institut Pascal se doit de présenter des candidats d'excellence aux concours CR du CNRS.

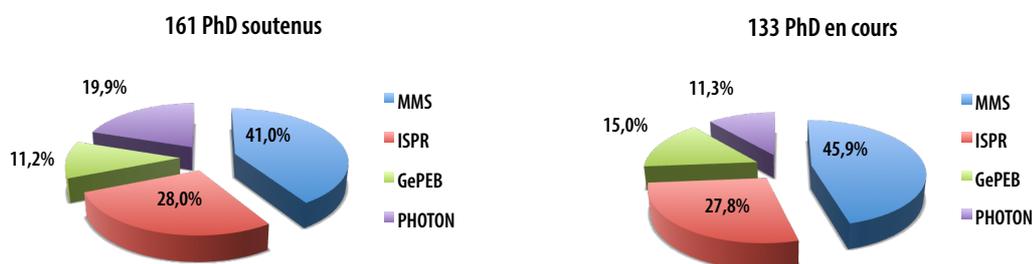
Doctorants

L'IP a accueilli 203 doctorants entre 2012 et 2015. Les sources de financement sont réparties comme suit :



(MESR = ED Sciences Fondamentales/Sciences pour l'Ingénieur/Sciences de la Vie ; LabEx IMobS3, GaNeX ; EquipEx ROBOTEX ; UE : tout type de contrat européen ; BRI : projet Corée du Sud ; Autres : CEA, DGA, Irstea, industriels...)

La répartition des doctorants entre les Axes de l'Institut Pascal est la suivante :

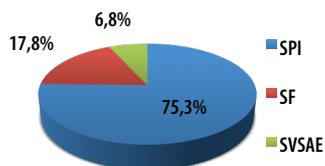


(à gauche : 161 thèses soutenues sur la période 2010-juin 2015 ; à droite : 133 thèses en cours - Les thèses sur un sujet ou pour partie pluridisciplinaire du Programme Transversal (13) sont ici ramenées à l'Axe d'inscription principal)

Les personnels HDR de l'Institut Pascal sont inscrits sur trois Ecoles Doctorales du site : ED des Sciences pour l'Ingénieur (SPI) pour tous les personnels MMS et ISPR, et une partie des personnels GePEB et PHOTON ; ED

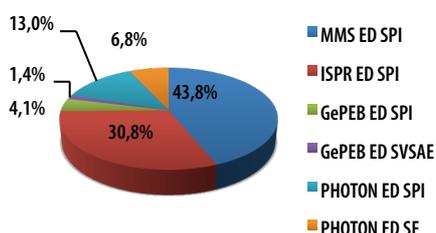
des Sciences Fondamentales (SF) pour une partie des personnels PHOTON ; ED des Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnements (SVSAE) pour une partie des personnels GePEB :

Répartition des HDR par Ecole Doctorale

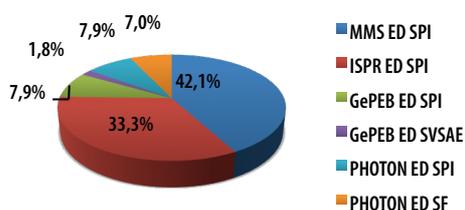


Les répartitions des doctorants entre les Axes et par ED de l'Institut Pascal sont les suivantes :

Répartition PhD soutenus par Axe et par ED

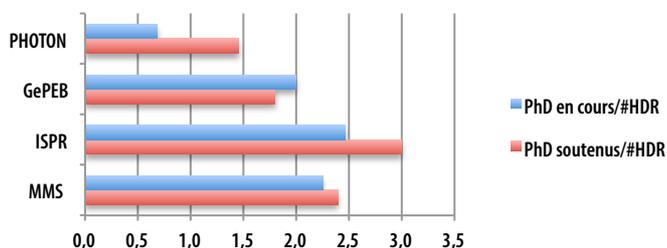


Répartition PhD en cours par Axe et par ED



(à gauche : 161 thèses soutenues sur la période 2010-juin 2015 ; à droite : 133 thèses en cours - Les thèses sur un sujet ou pour partie pluridisciplinaire du Programme Transversal sont ici ramenées à l'Axe d'inscription principal)

Les nombres de thèses ramenés aux nombres d'HDR sont par Axe :



Les rapports du nombre de thèses/nombre d'HDR sont très disparates entre les Axes. La situation se comprend quand on met en perspective ces rapports avec les sources de financement des allocations doctorales, conséquences des différences de fonctionnement dans la conduite des recherches :

%	sources de financement										
	MESR	CPER/Région	PIA1	ANR	UE	CIFRE	FUI	BRI	Gvt étrangers	Autres	
MMS	15,9	10,6	6,8	7,6	0,0	13,6	4,5	0	16	25,0	100 %
ISPR	9,8	9,8	14,7	18,3	3,7	6,1	4,9	2,4	6	24,3	100 %
GePEB	10,5	5,3	13,2	10,5	0	5,3	0	0	28,9	26,3	100 %
PHOTON	40,4	2,1	6,4	2,1	6,4	6,4	0	2,1	12,8	21,3	100 %

Ainsi, l'Axe PHOTON abrite des activités expérimentales à forte demande en consommables scientifiques. Lorsque la demande de moyens est formulée sur les AAP des agences, la priorité est donnée sur les consommables avant l'allocation RH doctorale. Les montants moyens pour un consortium ANR ne permettent pas l'abondement des consommables et d'une RH doctorale. En conséquence, PHOTON s'appuie essentiellement sur les bourses ministérielles des ED SF et SPI qui sont en nombre restreint pour le site clermontois dans sa globalité. L'Axe ISPR a bénéficié d'un bon taux de succès sur les AAP ANR, où ici la demande RH doctorale constitue la priorité. ISPR a été acteur des candidatures lauréates aux AAP du

programme PIA1, les activités sous-jacentes sont en conséquence bien irriguées. Tout comme l'Axe GePEB, qui bénéficie par ailleurs de sa réactivité aux AAP de l'ANR. Notons que les seules données de la *réactivité* des personnels et de la qualité des projets ne sont pas suffisantes dans l'analyse des lauréats des AAP de l'ANR : les projets de recherche présentés sur les thématiques du secteur SPI (mobilité, génie des procédés, mécanique/automatique/robotique) ont bénéficié de priorités nationales de programme sur la période passée. Ce qui n'a pas été le cas pour les acteurs *Matériaux* des Axes MMS (mécanique) et PHOTON (semiconducteurs) qui ont été également très actifs dans le dépôt de projets sur les quatre dernières années, avec un taux de succès demeuré cependant très faible (10%). L'Axe MMS a une excellente dynamique en direction des partenariats avec le monde économique (CIFRE et FUI).

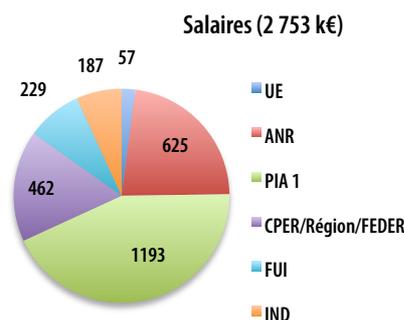
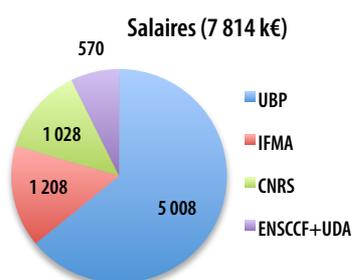
Moyens techniques/Equipements spécifiques/Plateformes

On retiendra les équipements et plateformes spécifiques suivants, en responsabilité de l'Institut Pascal ou en responsabilité de tutelles (Polytech Clermont/UBP, IFMA) mais gérés par des personnels de l'IP :

- Plateforme robotique manipulatrice, du réseau national EquipEx ROBOTEX (volet Robotique de Production).
- Plateformes Matériaux et Structures du Génie Civil (échelle "un", 700 m²), ECOGRAFI (300 m² pour l'éco-valorisation des matériaux granulaires et fibreux), plateaux d'essais mécaniques et centre de transfert technologique CTT IFMA (3200 m²).
- Plateforme PAVIN (plateforme Auvergne pour véhicules intelligents) : site expérimental original en France pour le développement de véhicules automatiques en environnement urbain réaliste. Flotte de 5 véhicules instrumentés communicants en lien avec l'EquipEx ROBOTEX (volet Robotique Mobile).
- Equipements Mesures de Champs et tomographie.
- Bioréacteurs et Photobioréacteurs (de 100 mL à 30 L) instrumentés.
- Chaînes d'analyses de gaz en ligne, chromatographiques.
- Bancs de spectroscopie optique à micro-résolution spatiale, résolution temporelle femto-seconde.
- Bancs de spectroscopie électronique : développement d'imagerie 3D.
- Réacteurs d'épitaxie HVPE III-V et III-N, uniques sur le territoire français.
- Bancs de mesure faible concentration de gaz.
- Plateforme PACEM (essais en compatibilité électromagnétique) avec chambre CRBM grand volume (8 m³ utile).

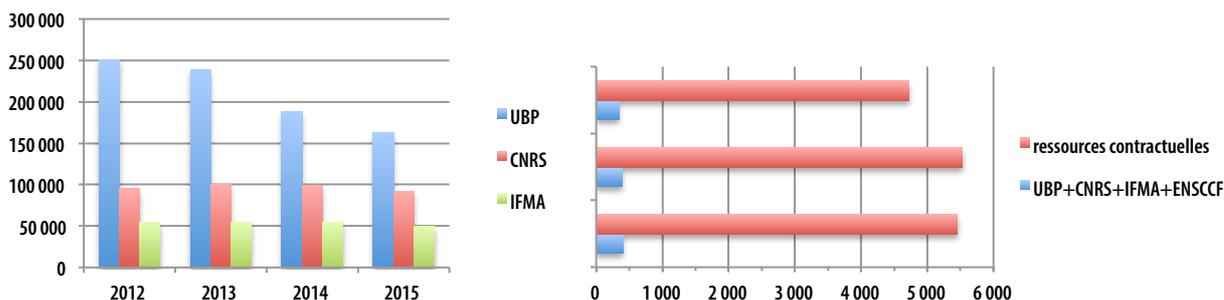
Données budgétaires

La masse salariale de l'Institut Pascal s'élève en moyenne à 8 M€ annuels pour les permanents. L'exemple de la répartition de la charge salariale des permanents de l'IP par tutelle est donné ici à gauche pour l'année 2014 :



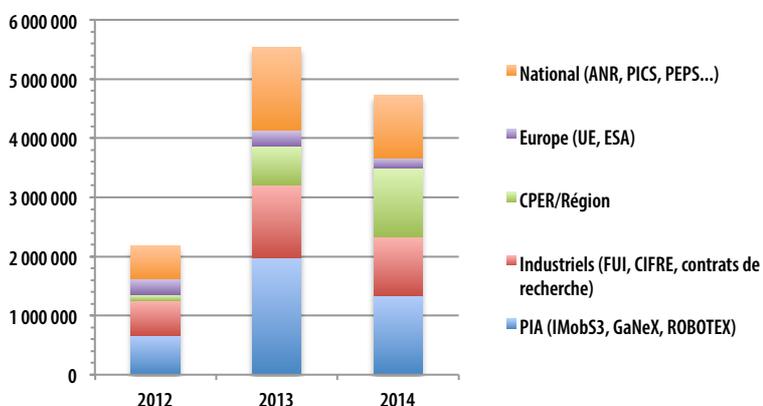
(à gauche : masse salariale des personnels permanents pour 2014 répartie par tutelle de l'IP et établissements ENSCCF et UDA ; à droite : masse salariale des personnels doctorants et CDD répartie par sources externes ANR, FUI, PIA 1 (LabEx IMobS3 et GANEX, EquipEx ROBOTEX), CPER/Région/FEDER et industriels (IND) en 2014).

Les dotations FEI annuelles de base des tutelles ont diminué de 20% entre 2012 et 2015 :

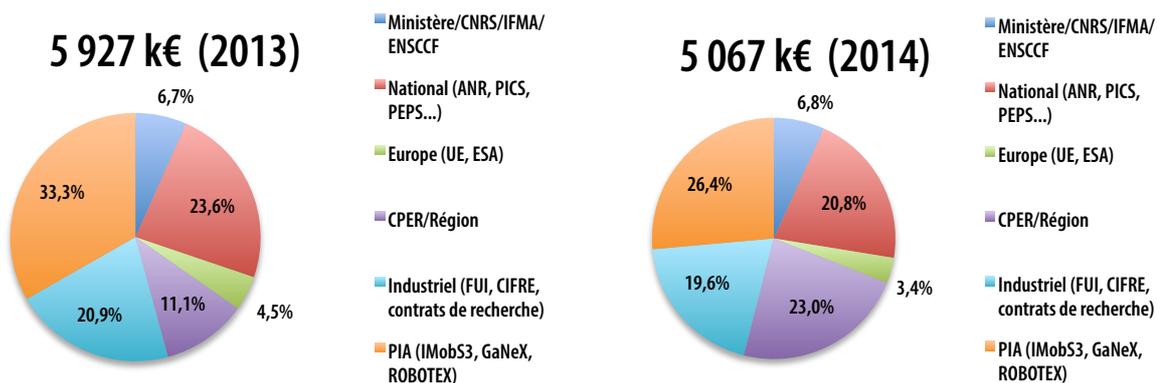


(à gauche : dotations FEI annuelles des trois tutelles de l'IP en € (l'ENSCCF abonde de 2000 € annuellement depuis 2012) ; à droite : dotations FEI des tutelles et ressources contractuelles (FEI + salaires contractuels) en k€).

Les recettes contractuelles ont représenté 93% du budget de l'IP (hors salaires des permanents) de manière quasi-constante en 2012, 2013 et 2014. Leur répartition annuelle sur la période 2012-2014 est la suivante :



Pour exemples de la répartition budgétaire du laboratoire (hors salaires des permanents), on donne ici les budgets 2013 et 2014 :



(dans la part des FEI de la catégorie PIA1, sont comptabilisés les fonds FEDER levés en accompagnement du LabEx IMobS3 et de l'EquipEx ROBOTEX ; accompagnement de 1€ FEDER pour 1€ ANR).

Commentaires :

Le budget total (entendu comme FEI (tutelles) + recettes contractuelles) de l'IP est resté quasi-constant en 2012 et 2013. La baisse de l'ordre de 800 k€ constatée pour le budget 2014 provient essentiellement de la

dotations exceptionnelles (2 millions €) de l'EquipEx ROBOTEX répartie de manière quasi-identique sur les budgets 2013 et 2015. Les tutelles ont à faire face à une diminution de leur propre dotation d'établissement et/ou ont dû arbitrer des choix de distribution, ce qui se répercute sur les dotations FEI du laboratoire. Les recettes contractuelles FEI provenant des PIA1 ont été très importantes en 2012 et 2013 où des équipements lourds étaient budgétés. La part nationale des contrats collaboratifs ANR est en diminution : les personnels de l'IP sont pro-actifs dans leur réponse aux appels à projet de l'ANR, mais le taux de réussite a chuté sur la période 2012-2015 par rapport à ce qu'il était entre 2006 et 2012. L'Institut Pascal connaît le même taux de réussite ANR que le taux national (inférieur à 10% de la première étape de soumission ; en 2015, 26% des projets qui avaient franchi la première étape de sélection ont été lauréats, soit le taux national ANR sur le 2e tour).

Le faible montant des dotations FEI des tutelles, sur lesquelles aucun fléchage n'est imposé, ne permet plus de pratiquer une politique de soutien scientifique efficace en interne. Après réserve de 15% pour le Service Général du laboratoire, les FEI sont répartis au sein des quatre Axes au pro-rata des ETP des Axes, pondérés d'un coefficient de *cherté* qui dépend de la nature des activités de recherche de l'ETP considéré (expérimentateur/théoricien). Les Axes appliquent par suite des règles de distribution qui leur sont propres, afin de respecter les contraintes disciplinaires de chaque activité et la structuration interne de chaque Axe. Le budget ainsi réparti ne permet néanmoins qu'une survie des équipes. En particulier, nous en sommes arrivés à de réelles difficultés de maintenance des équipements du laboratoire qui nécessitent un budget annuel incompressible (exemple : les réacteurs d'épitaxie et les bioréacteurs) et qui doit être assuré dans les périodes de recherche non contractualisées. La question des capacités de réalisation des opérations de recherche du laboratoire est une préoccupation majeure de notre Projet et des modalités de sa mise en oeuvre (voir section 3).

Projets collaboratifs académiques / Coopérations internationales

La communauté de l'Institut Pascal est proactive dans le montage de projets collaboratifs en tant que coordinateur (14 projets). L'ANR occupe une part prépondérante en terme de nombre de projets financés :

	Type	Nombre	Coordination
Nationaux	ANR collaboratifs	43 *	14
	ANR Jeunes Chercheurs	2	2
	PIA 1 ANR LabEx IMobS3		✓
	PIA 1 ANR LabEx GANEX		partenaire
	PIA 1 ANR EquipEx ROBOTEX		partenaire
	CNRS PEPS	10	2
	CNRS PICS	2	1
	CPER Axe Innov@Pôle		✓
	CNES	3	2
	Laboratoire sans mur CEA DAM		✓
	Divers : Synchrotron, DGA...	4	4
Internationaux	UE FP7	10	4
	UE COST	9	2
	Braain Research Institut (BRI KO)		✓
	MOU MELISSA (ESA)	9	
	Chaires d'excellence LabEx IMobS3 Région Auvergne	1	
	PHC	6	3
	EURIPIDES EUREKA	1	
	PRACE	1	
	COFECUB	1	1

* = dont 1 MMS/GePEB ; 2 MMS/ISPR ; 1 MMS/PHOTON - Voir récapitulatifs en Annexe 7 (Annexes Institut Pascal).

En matière de recherche de contrats collaboratifs, les acteurs de l'IP ont les mêmes réflexes que les personnels de la recherche française : depuis que l'ANR propose ses appels à projet, les efforts se sont tournés vers l'ANR au détriment des appels de l'Union Européenne. L'Institut Pascal à l'instar de tous les laboratoires français souffrent du faible taux de réussite aux présentations ANR.

L'Institut Pascal a été moteur sur la réponse à l'AAP du PIA1 avec la proposition puis le pilotage du LabEx IMobS3 (pour la mobilité innovante des personnes, des biens et des machines), action qu'il prolonge sur le

PIA2 avec la responsabilité du montage de l'Axe 2 du projet I-SITE CAP2025 (voir section 3). Ces actions structurantes du site local ont été soutenues en parallèle par le CPER 2007-2013, avec la coordination de l'Axe Innov@Pôle du CPER, rassemblant les forces du secteur STI clermontois. La Région a soutenu le LabEx IMobS3 en le complétant par deux chaires d'excellence, ce qui a permis d'inviter les Pr. R. Hartley et H. Araujo sur l'Axe ISPR sur deux programmes de chaire du LabEx.

Production scientifique

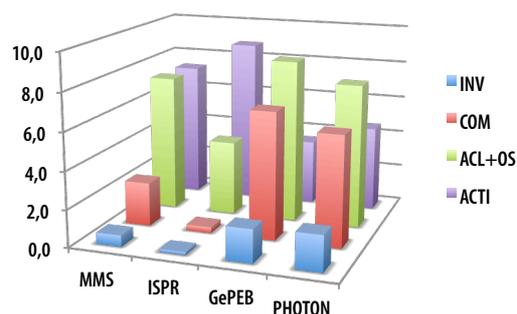
La production scientifique 2010-2015 est en augmentation par rapport à la période précédente (rapportée des trois laboratoires fondateurs sur 2006-2010) :

	ACL	OS	ACTI	ACTN	TOTAL
Communications écrites	828	121	865	293	2107
<i>2006-2010</i>	<i>584</i>	<i>62</i>	<i>663</i>	<i>221</i>	<i>1530</i>
	INV	COM *	AFF	-	TOTAL
Communications orales	135	470	330		935
<i>2006-2010</i>	<i>106</i>				

* : les COM sont entendues ici comme toute communication orale présentée en congrès par un personnel de l'IP, indépendamment de tout acte ACTI/ACTN qui peut éventuellement l'accompagner. Pour appréciation du rapport COM/AFF pour la diffusion en congrès.

L'analyse de la production rapportés à l'ETP des personnels enseignants-chercheurs (E) et chercheurs (C) est un indicateur de la dynamique de la communauté scientifique. Compte tenu des spécificités de dissémination disciplinaires, il est hors sujet d'éditer un rapport moyen pour le laboratoire. Au contraire, l'analyse différenciée est un excellent marqueur des habitudes de confrontation et de dissémination scientifique des communautés (réalisée sur les indicateurs internationaux ACL, ACTI, INV et COM) :

2010-2015	# = ETP des EC et C			
	ACL+OS /#	ACTI /#	INV /#	COM /#
MMS CNU60/CN09	14,6	14,6	1,2	4,6
ISPR CNU61/CN07	8	17,6	0,4	0,6
GePEB CNU62-64- 65/CN10	17,4	7,0	3,6	13,6
PHOTON CNU28- 63/CN08-03	15,4	9,2	3,8	11,8



Le rapport des productions/ETP des EC et C est pour tous les Axes au rang des bons laboratoires français relevant des sections CNU/CN concernées. La communauté de la 61e section publie avant tout en conférences internationales (ACTI), lieux de la sélectivité et du gage de qualité et d'audience pour les activités de la robotique, commande/perception et vision¹. La 60e section est tout aussi dynamique sur les ACL que les ACTI, les ACTI et la présence en conférences étant marqueur de qualité pour la communauté¹. GePEB et PHOTON privilégient les publications en journaux ACL. Rappelons que pour la 28e section, les ACTI ne sont pas pris en compte dans l'évaluation des travaux², les 28e publient très peu d'actes en conférences ; les ACTI comptabilisés pour PHOTON relèvent essentiellement de la 63e section. Par contre, la présence de PHOTON en conférences internationales est marquée par le très bon taux de présentations orales, tout comme les recherches de l'Axe GePEB ; pour ces deux communautés, l'acceptation pour une présentation orale vaut gage de qualité (sélectivité des communications choisies pour les sessions orales). S'agissant des invitations internationales, la progression du nombre observée par rapport à la période précédente accompagne naturellement la montée en qualité des journaux de publication. C'est particulièrement vrai pour la communauté de PHOTON dont les activités se prêtent bien à l'équation de diffusion "journal à fort facteur d'impact+conférences orales (fort taux de présence COM) = invitation à terme". La communauté des 61e par exemple ne peut jouir du même régime étant donné les modes de fonctionnement des conférences de ce secteur disciplinaire où l'on observe un nombre restreint de talks

¹ d'après Critères d'identification AERES/HCERES des EC/C produisant : pour le secteur STIC, un article long dans un congrès

invités par session, qui sont réservés en conséquence, à une élite internationale. Toutes les communautés du laboratoire ont des leaders scientifiques à visibilité internationale (source Google Scholar) :

	#leader à h index > 20	#leader à h index > 15 *	#ACL ou ACTI cités plus de 100 fois	#ACL ou ACTI cités plus de 50 fois **
MMS	3	4	5	18
ISPR	4	5	17	49
GePEB	5	7	25	70
PHOTON	5	8	26	74

* : les leaders à h>20 sont recomptabilisés ici ; ** : les ACL/ACTI cités plus de 100 fois sont recomptabilisés ici.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

Les marqueurs de l'audience et du rayonnement des activités de l'Institut Pascal sont détaillés dans la description des réalisations des Axes (section 1.2). Le collectif Institut Pascal souligne sur la période 2010-2015 :

✓ Responsabilités nationales et internationales - Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques

Les personnels de l'IP coordonnent ou sont membres des Comités de Direction/Comités Scientifiques de programmes dont :

réseaux nationaux

GDR CNRS Mesures de Champs - Projet ESReDA (*cost optimization of structures*) - Axe ROBPROD de l'EquipEx ROBOTEX - Axe GT2 VT du GDR Robotique.

GDR CNRS Ingénierie des biosystèmes : de la cellule au procédé - Axe Photoprocédé FR CNRS FédEsol.

Présidence de la Commission E Compatibilité Electromagnétique (URSI) - Responsabilité de la Thématique Croissance Sélective du GDR PULSE (Processus ULtimes en épitaxie de SEMiconducteurs).

réseaux internationaux

Réseau UE FP7 ITN (Spinoptronics) - Comités d'action européenne COST (european network (EN) on new sensing technologies for air-pollution control ; EN for uses of electromagnetic in biomedical applications et civil engineering applications of ground radar en coordination) - Comité de projet MOU MELISSA ESA.

✓ Invitations et attractivité internationale / Accords de collaboration internationaux

20 chercheurs étrangers ont été accueillis au laboratoire sur des séjours supérieurs à un mois. Le LabEx IMobS3 qui promeut une priorité de mobilité de ressources humaines à l'internationale a été le principal vecteur de cette mobilité entrante (séjours d'un mois en moyenne, renouvelable sur deux ou trois ans en accompagnement d'une thèse), dont deux chaires d'excellence Région LabEx/IMobS3 (Pr. R. Hartley et Pr. H. Araujo).

L'établissement UBP a également contribué à l'accueil de ces personnalités par le programme de financement de mois invités de l'université. L'UBP a par ailleurs prolongé de deux ans le contrat du Pr. N. Gippius à l'issue de la fin de la Chaire d'Excellence ANR obtenue pour son accueil entre 2006 et 2010.

Des collaborations internationales ont été consolidées par des accords formalisés et contractualisés :

- laboratoire sans mur international Brain Research Institut (BRI) avec l'Université de SungKyumKwan, Corée du Sud (2009-2014) : Transport intelligent en milieu urbain (convention bilatérale) ;
- accord de consortium Mou MELISSA / ESA : écosystèmes clos artificiels biorégénératifs ;
- conventions bilatérales avec le Gabon, la Tunisie, l'Algérie, le Brésil, l'Italie, le Japon, Madagascar, la Croatie, le Liban, la Roumanie.

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques

Le détail des participations aux Comités éditoriaux et Comités Scientifiques est donné dans la section 1.2 pour chaque Axe. Les personnels de l'Institut Pascal sont impliqués régulièrement.

✓ Prix et Distinctions (niveaux national et international)

Au niveau international et national, l'Institut Pascal souligne les distinctions suivantes :

- un prix B.J. Lazan, Award of the Society for Experimental Mechanics (SEM) ;
- un prix Jeune Chercheur Daniel ValentinAMAC ;

- un prix DERBI/JNES 2014 (Energie, Génie des Bioprocédés) ;
- le projet ANR FIDEL (Nanofils nitrures) a été lauréat de la liste des projets phares ANR 2013 ;
- les nanofils GaAs ultra-longes synthétisés par VLS-HVPE ont été inscrits comme Fait Marquant 2010 du CNRS INSIS.

10 communications internationales ont été primées (Best Paper Awards/Best Communication Awards) couvrant les quatre Axes de l'Institut Pascal.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

L'Institut Pascal, affiché Sciences pour l'Ingénieur, est bien entendu investi dans les actions de transfert et de valorisation, et ce pour tous les Axes. Les activités du laboratoire sont inscrites dans les Domaines d'Innovation Stratégique de la Région Auvergne *Espaces de vie durables* (DIS 3) et *Systèmes performants et intelligents - Usine du futur* (DIS 5). Les actions et collaborations avec l'environnement industriel sont portées par les contrats suivants :

	Type	Nombre
Contrats	FUI	13 *
	IND	57
	SATT	2
	Région (Innovation FRI2, Maturation, Innovation bourse et CDD)	9
	ADEME	1

* : dont 1 commun ISPR/MMS - Voir récapitulatifs en Annexe 7 (Annexes Institut Pascal).

On rappelle également que près de 10 % des contrats de thèse de l'IP sont des CIFRE.

L'Institut Pascal entretient des liens actifs avec le Pôle de Compétitivité ViaMéca (Bureau de ViaMéca, Conseil d'Administration, Axes ISPR et MMS), Céréral Vallée (Conseil Scientifique et Conseil d'Administration, Axe GePEB) et AESE (Aéronautique, Axe MMS). Les transferts de technologie sont opérés via la plateforme 2M@Tech (établissement IFMA, Axe MMS). Une unité mixte de technologie (UMT08.2) MECARNEO met en lien l'IP, l'ADIV Institut Technique Agro-Industriel des filières Viande et le CEA autour des thématiques de la mécanisation et robotisation des produits carnés (Axes ISPR et MMS). La présidence du GIS Pôle Viande et Produits Carnés est par ailleurs assurée par un personnel de l'Axe GePEB. Des contrats cadre avec EDF et PHIMECA Engineering couvrent le domaine de la fiabilité des structures ; les milieux granulaires sont adressés dans une collaboration pérenne avec Sol Solution (Axe MMS).

Un partenariat durable a été établi avec la MNPF Michelin (4 contrats industriels, mobilité sortante de personnels de l'IP, démonstrations de flottes de véhicules VIPA sur site Michelin et aux Challenges Bibendum de Berlin et Chengdu, actions de formation continue), terrain de la création du laboratoire partagé avec la Manufacture (Axes ISPR et MMS, voir section 3, Projet de l'Institut Pascal).

Un circuit de transfert entre les Automobiles Ligier, la société EasyMile, Michelin et l'IP a été mis en place pour le déploiement de navettes automatiques sans chauffeur (véhicule autonome EZ10, Axe ISPR).

4 start-up relevant des disciplines de la mobilité et de la robotique ont été créées, 5 jeunes pousses sont hébergées dans le domaine des Bioprocédés. Les personnels de l'IP sont membres de Conseils Scientifiques ou de Conseil d'administration d'entreprises ou de groupes industriels (détails décrits dans les Axes).

L'Institut Pascal a déposé 32 brevets. Marqueurs de recherche à potentiel appliqué, ils sont bien répartis entre les Axes du secteur SPI (MMS, ISPR et GePEB) et l'Axe PHOTON qui a pris sa part, y compris sur ses recherches à caractère plus fondamentale :

	MMS	ISPR	GePEB	PHOTON
# BRE	10	8	6	8

Ainsi, PHOTON porte 2 brevets relatifs à des systèmes utilisant des effets de nouveaux concepts (physique des polaritons, physique des plasmons) et 2 brevets relatifs aux microsystèmes capteurs de gaz avec une opération de maturation (soutien SATT Grand Centre). L'Axe entretient également des relations avec de grands groupes (THALES RT, Sharp, Toshiba) et des PME (applications de la photonique). Le groupe CEM

réussit un équilibre exemplaire entre les activités de modélisation et leur dissémination et application aux besoins de partenaires économiques. Dépositaire de 5 brevets, le groupe CEM est également en opération de maturation avec la SATT.

Les personnels de l'IP participent enfin à des manifestations et à des réseaux nationaux de liaison avec les acteurs du monde socio-économique et sont rédacteurs dans des structures de normalisation (voir détails décrits dans les Axes)

✓ *Diffusion scientifique vers le grand public*

L'Institut Pascal se mobilise régulièrement pour les Journées Portes Ouvertes, les Journées Fête de la Science organisées par l'établissement UBP. En particulier, la plateforme PAVIN est un outil privilégié de démonstrations à destination du Grand Public, elle est sollicitée à minima quatre fois par an. Au delà de ces actions classiques et autres accueils réguliers de stagiaires collégiens et lycéens ou Journées de Formation des Enseignants du Secondaire (Nanotechnologies), citons pour une audience nationale des articles de vulgarisation (Laser à polaritons in *Pour la Science*, *Integrated Nanophotonics* in Wiley,) et des parutions sur les sites web de la Région Auvergne et du Huffington Post, et la responsabilité éditeur des catégories Optique et Laser sur Scholarpedia.org.

L'Institut Pascal a enfin accueilli une soixantaine de stagiaires collégiens (3e) ou lycéens (2e) entre 2012 et 2015. Les séjours d'une semaine sont organisés selon un planning qui permet aux jeunes stagiaires de parcourir les différents champs disciplinaires de l'unité, d'être confrontés aux métiers divers de la recherche publique et de la formation supérieure, avec un temps assuré par la Direction du laboratoire qui informe du fonctionnement et des modes opératoires d'un laboratoire universitaire.

1.1.6. Cinq faits marquants

Les cinq principaux faits marquants **relevant du collectif** Institut Pascal sont :

- **Obtention du LabEx IMobS3 et de l'EquipEx RobotEx** : L'Institut Pascal est au cœur de l'obtention de deux projets du premier programme des Investissements d'Avenir (PIA1). Le premier est un Laboratoire d'Excellence centrée sur la Mobilité Innovante des personnes, des biens et des machines. Il fédère sept laboratoires clermontois et concerne, à des degrés divers, les quatre Axes du laboratoire. Son budget (de l'ordre de 1.4 M€/an) est fléché à 75% sur les ressources humaines. Le second, dénommé RobotEx, relève du guichet Equipement d'Excellence. Il a pour but de doter quinze laboratoires français du matériel le plus abouti dans le domaine de la robotique. Clermont-Ferrand est identifié comme nœud national sur les thématiques de la robotique mobile et la robotique de production.
- **Participation au LabEx GaNeX** : Ce LabEx est un réseau qui rassemblent les laboratoires français travaillant sur les semiconducteurs nitrures d'éléments III (AlInGaN), piloté par le CRHEA (UPR 10 CNRS). L'Institut Pascal y est reconnu sur ses activités théoriques de modélisation des interactions lumière-matière, de spectroscopies optiques et modélisations associées, de croissance cristalline par épitaxie HVPE aux hydrures.
- **Cohérence avec les affichages des collectivités locales** : La Stratégie de Spécialisation Intelligente (S3) retenue par la région Auvergne interroge les compétences scientifiques de l'Institut Pascal sur les domaines d'innovation stratégiques que sont les systèmes intelligents et performants, les espaces de vie durables, les systèmes agricoles durables et la prévention pour la santé et le confort de vie. Le Contrat de Projet État-Région (CPER 2015-2020), par le biais de l'Axe MMaSyF *Mobilités, Matériaux et Systèmes du Futur*, s'adresse également au laboratoire. Enfin, le schéma régional de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (SRESRI) reconnaît une place particulière aux LabEx dans la structuration et l'animation du site clermontois.
- **Laboratoire commun avec la Manufacture MICHELIN** : Les liens étroits entretenus par l'Institut Pascal avec le monde socio-économique vont se concrétiser par la mise en place d'un laboratoire commun avec la Manufacture Française des Pneumatiques Michelin sur la thématique de l'Usine du Futur. La cobotique, la transique autonome, la virtualisation de la production industrielle et l'homme dans l'usine de demain sont au cœur du projet. Ce dernier s'inscrit très logiquement sous la bannière du LabEx IMobS3 puisque le LIMOS (informatique) et le LAPSCO (acceptabilité et ergonomie), membres d'IMobS3, sont également partenaires.
- **Acteur de la définition du projet I-SITE CAP2025** : Le projet I-SITE CAP-2025 dessine les contours de l'avenir de la place universitaire clermontoise. Il correspond à l'un des guichets de la seconde

vague des Investissements d'Avenir. Le projet CAP-2025 a été retenu parmi les 3 lauréats admis à concourir pour la seconde phase sur les 13 dossiers déposés. L'Institut Pascal anime la réflexion autour de l'Axe Sciences pour l'Ingénieur qui cible l'Usine du futur et les agro-technologies en complément de la mobilité innovante du LabEx IMobS3. Un des points forts de ce dossier concerne le lien étroit et réel avec le monde socio-économique, notamment la manufacture Michelin et le Pôle de compétitivité ViaMéca.

1.1.7. Analyse SWOT

Forces

Les principaux points forts de l'Institut Pascal sont :

- une adhésion collective incontestable au projet de l'Institut Pascal et un engagement fort de tous les personnels dans les métiers de la recherche et d'accompagnement de la recherche ;
- des domaines d'excellence scientifique indéniablement reconnus au plan international de par la qualité des résultats acquis durant ces cinq dernières années (828 ACL, 121 OS, 135 INV, 865 ACTI, 2 Chaires d'Excellence) ;
- des échanges scientifiques internationaux abondants (invitations, coordination de plusieurs projets, y compris de grands réseaux Européens, organisation de conférences internationales ou écoles d'été) ;
- une activité contractuelle et de valorisation incontestable (82 projets relatifs), complétée par un nombre de dépôt de 32 brevets conséquent dont 2 en cours de maturation par la SATT Grand Centre ;
- une démographie des enseignants-chercheurs globalement jeune (moyenne 45 ans) ;
- la gestion, jusqu'ici réussie, des départs en retraite des cadres scientifiques grâce à des recrutements de qualité ;
- un placement efficace des doctorants (la quasi totalité en emploi stable après leur thèse - moins de 1% en recherche d'emploi) ;
- l'existence de projets collaboratifs importants : LabEx IMobS3 et GaNeX, EquipEx ROBOTEX ;
- un terreau propice à l'interdisciplinarité induit par la proximité géographique entre communautés scientifiques à tailles humaines et équilibrées ;
- une bonne réactivité face aux évolutions du contexte ainsi qu'aux diverses recommandations formulées (comités d'évaluation, Assises Régionale de la Recherche, etc.) ;
- un rôle et une visibilité indéniables au niveau du site.

Faiblesses

Les principaux points faibles sont :

- un fléchissement du flux d'étudiants dans certaines composantes d'adossement et ses répercussions sur les études doctorales et la recherche dans les disciplines sous-jacentes ;
- la menace, consécutive à cet état de fait, sur la pérennité des postes d'enseignants-chercheurs liés ;
- une implication de plus en plus chronophage dans les montages de dossiers et l'animation de structures (à différents niveaux) pour les cadres scientifiques du laboratoire ;
- la continuité sur le long terme des compétences acquises de par le recours de plus en plus fréquent à des emplois temporaires (CDD) ;
- des charges liées à l'enseignement et surtout aux responsabilités de diplômés, de plus en plus lourdes, qui pèsent même sur les Maîtres de Conférences nouvellement recrutés (volume horaire chronophage) ;

- un déséquilibre trop criant entre les effectifs de chercheurs CNRS et d'enseignants-chercheurs ;
- un effectif d'ITA/IATOSS trop faible vis-à-vis des équipements expérimentaux disponibles ;
- un nombre trop faible de permanents dans les instances nationales ou européennes de programmation et d'évaluation de la recherche ;
- l'inquiétude et les interrogations des communautés MMS et PHOTON de l'IP non directement impliquées dans les grands projets collectifs du laboratoire : elles se sont traduites par des revendications fortement exprimées. La future direction de l'IP devra les intégrer dans son projet, pour arbitrer à partir des éléments factuels et des objectifs scientifiques de l'Unité définis par et pour tous. Ceci nécessite une implication pleine et entière, et un service des cadres de direction dévolu au collectif ;
- des difficultés à mettre en place les capacités de réalisation des actions inter-Axe du Programme Transversal (voir le SWOT élargi du Programme en section 1.2.5), difficultés que l'on retrouvera à la mise en place des actions interdisciplinaires avec l'Axe Thérapies Guidées par l'Image.

Opportunités

Les principaux éléments qui vont favoriser l'émergence du projet 2017-2021 de l'Institut Pascal sont :

- l'arrivée au sein de laboratoire de la communauté Thérapies Guidées par l'Image qui matérialise le souhait de l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) du CNRS de voir l'ensemble des forces du site regroupé en une seule structure pour une visibilité accrue vis à vis des instances nationales et internationales de par l'effet de masse induit. Du point de vue scientifique, l'ouverture vers le secteur applicatif de l'instrumentation et des méthodologies médicales constitue un élargissement des thématiques de l'IP susceptible de répondre en phase avec les sujets prioritaires des AAP des agences de moyens ;
- le projet CAP2025, qui dessine les contours de l'avenir de la place universitaire clermontoise (dossier retenu parmi les 3 lauréats admis à concourir pour la seconde phase sur les 13 déposés) pour lequel l'Institut Pascal se trouve au cœur de l'Axe Sciences pour l'Ingénieur du projet ;
- les liens très étroits entretenus par l'Institut Pascal avec le monde socio-économique, notamment le pôle de compétitivité ViaMéca, qui vont se concrétiser par la mise en place d'un laboratoire commun avec la Manufacture Française des Pneumatiques Michelin sur la thématique de l'Usine du futur ;
- la cohérence des thématiques du laboratoire avec les affichages des collectivités locales, notamment la Stratégie de Spécialisation Intelligente (S3) retenue par la région Auvergne, le Contrat de Projet État-Région (CPER 2015-2020) et le Schéma Régional de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (SRESRI) ;
- la réforme territoriale en cours qui associe les régions Auvergne et Rhône-Alpes donnant naissance à la seconde région française et la 7^{ième} européenne en terme de PIB et qui devra être l'opportunité de renforcer les liens déjà existants avec les acteurs lyonnais, grenoblois ou stéphanois ;
- l'adossement fort de l'Institut Pascal aux composantes d'enseignements que sont l'IFMA, Polytech' Clermont-Ferrand, l'ENSCCF, les IUT d'Auvergne et d'Allier, et l'UFR Sciences et Technologies, qui offre une place privilégiée au laboratoire au cœur du Collegium Technologies et Sciences pour l'Ingénieur de la future Université Clermont Auvergne ;
- la présence sur le site d'autres organismes thématiquement proches et déjà partenaires (Irstea, Cerema, INRA).

Risques

Les principaux éléments de nature à contrarier la réalisation du projet Institut Pascal sont :

- un paysage de l'enseignement supérieur clermontois pas totalement clarifié malgré la fusion prochaine des deux universités ainsi que le rapprochement de l'IFMA et de l'ENSCCF (l'Institut Pascal est au cœur du secteur Sciences pour l'Ingénieur partagés entre des écoles d'ingénieurs aux statuts différents, les choix stratégiques inter-établissements ne sont pas totalement aboutis) ;
- la non sélection du projet CAP2025 qui pourrait conduire le site clermontois au rang de Collège Universitaire, avec le risque d'aboutir à la disparition des forces de recherche ;
- le corollaire au point précédent qui pourrait entraîner un désengagement progressif du CNRS ;
- le pari de l'interdisciplinarité, fait par l'IP avec la création du 5e Axe TGI, qui est encouragé par les tutelles, mais qui devra trouver ses capacités de réalisation (comment seront traités les projets scientifiques interdisciplinaires par les agences de moyens ?), et qui rencontre encore des problèmes de reconnaissance par les structures d'évaluation (évaluation des carrières des personnels par exemple) ;
- la diminution importante des moyens récurrents (budgets, bourses ministérielles, etc.) qui est la seule source réelle pour une prise de risque et une jouvence scientifique hors sentiers battus.

1.2. Réalisations

Les réalisations sont décrites par Axe de l'Institut Pascal.

1.2.1. Axe GePEB

1.2.1.1. Présentation générale

Personnels

8 PR, 2 MCF-HDR, 12 MCF, 1 IE, 1.5 Tech

Fabrice AUDONNET (MCF62, UBP depuis sept. 2011), Frédéric BRUN (Tech, ENSCCF depuis sept. 2012), Gwendoline CHRISTOPHE (MCF62, UBP depuis sept. 2012), Jean-François CORNET (PR62, ENSCCF), Catherine CREULY (MCF62, UBP), Jérémie DAUCHET (MCF62, ENSCCF depuis sept. 2013), Hélène de BAYNAST (MCF62, UBP), Cédric DELATTRE (MCF64, UBP depuis sept. 2012), Gholamreza DJELVEH (PR62, ENSCCF), David DUCHEZ (IE, UBP), **Claude-Gilles DUSSAP** (PR62, UBP), Jean-Pierre FONTAINE (PR62, UBP), Pierre FONTANILLE (MCF65 - HDR, UBP), Christine GARDARIN (Tech, UBP), Fabrice GROS (MCF62, ENSCCF), Céline LAROCHE (MCF64 - HDR, UBP), Christian LAROCHE (PR62, UBP), André LEBERT (PR62, UBP depuis sept. 2010), Alain MARCATI (MCF62, ENSCCF depuis sept. 2011), Philippe MICHAUD (PR64, UBP), Guillaume PIERRE (MCF64, UBP depuis oct. 2011), Agnès PONS (MCF62, UBP), Laurent POUGHON, (MCF62, UBP), Matthieu ROUDET (MCF62, ENSCCF depuis sept. 2011), Christophe VIAL (PR62, UBP depuis sept. 2010)

Associés

Geneviève GAUDET (MCF-EM65, UBP), Jean-Bernard GROS (PREM62, UBP), Michel TROQUET (PREM31, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (12) : Stéphanie BADEL-BERCHOUX (CIFRE Biofilm Control, déc. 2010), Jérémie DAUCHET (MESR, oct. 2009 – déc. 2012), Pauline HÉZARD (contrat ESA, sept. - 2009, juillet 2013), Étienne JOURDIER (contrat IFPEN, déc. 2013), Narimane MATI (ANR, sept. 2011 - fév. 2015), Cindie ROSSIGNOL (CIFRE, mai 2013), Swathy SASIDHARAN LILLY VASANTHAM (contrat ESA, janv. 2010 – juillet 2013), Darine SELMANE (bourse syrienne, juin 2010), Kaïes SOUIDI (bourse Région Auvergne, sept. 2009 - déc. 2012), Akhilesh TIWARI (financement CNES, juin 2008 – déc. 2011), Oumar TOURÉ (ANR- Région, sept. 2011 – janv. 2014), Aurore VILLAY (MESR, sept 2010 - déc. 2013)

Thèses en cotutelles et codirections soutenues (6) : Gabrielle CHIMICIU (Polytechnique de Bucarest, 2014), Benjamin LE GOUIC (Université de Nantes, mai 2013), Ana Maria MARDARU (Polytechnique de Bucarest, 2013), Gustavo MOLINA, thèse sandwich, 2012), Eduardo SYDNEY (bourse de l'Université de Curitiba, juillet 2013), Costas SYGGIRIDIS (Université de Patras, juin 2014)

Thèses en cours (20) (dont 5 en cotutelle) : Fatou BA (LabEx IMobS3, sept. 2012), Hajar BAHRY (cotutelle Université Libanaise, sept. 2014), Vanessa BELIGON (MESR, sept. 2012), Fatima BENAOUN (cotutelle PHC Hubert Curien, juin 2015), Julien CHARON (cotutelle Université de Perpignan LabEx SOLSTICE et IMobS3, oct. 2014), Toufik CHOUANA (cotutelle PHC Hubert Curien, sept. 2014), Nelly CRUVELLIER (Contrat ESA, sept 2013), Ghiles DAHI (LabEx IMobS3, sept. 2012), Azin ESKANDARI (ANR, avril 2012), Nidal FAYAD (MESR, sept. 2014), Rima MAHDI (CPER, sept. 2012), Aichatou MUSAVU NDOB (bourse gabonaise, déc. 2012), Alexandre NOBLECOURT (LabEx IMobS3, sept. 2014), Benjamin PETERA (cotutelle Université d'Antsiranana, janv. 2014), Lucie POULET (CNES-CNRS, janv. 2015), Vincent ROCHATTE (LabEx IMobS3, sept 2012), Nastasia SOANEN (ANR, sept. 2013), Zaineb TRAD (LabEx IMobS3, sept. 2012), Tania YEHYA-FAYAD (bourse libanaise, oct. 2012)

Codirections de thèses en cours (2) : Mira ABOUDD (LabEx IMobS3, sept. 2012 - co-direction Axe PHOTON/N2), Malika NADOUR (Université de Mouloud Mammeri, 2011)

HDR présentée

Pierre FONTANILLE (2013), Céline LAROCHE (2012)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels en cours

Emmanuel BERTAND (Post doc LabEx IMobS3, sept. 2014 - déc. 2015), Mohammed Arezki CHEKROUN (Ingénieur Recherche FRI2 Cluster, janv. 2015 – janv. 2016), Véronique TABONE (contrat Valeco2, oct. 2014 - mars 2015 ; bourse Auvergne Innovation-transfert de technologies, sept. 2015 - sept. 2016), Oumar TOURÉ (Post doc, ANR-ESA, janv. 2015 – déc. 2015), Alina-Violeta URSU (chercheur contractuelle, sept. 2014 - sept. 2015), Sébastien WEITZ (Post doc, Idex Toulouse, janv. 2015 – déc. 2017)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels présents durant la période

Pierre-Henri ELCHINGER (PD, financement CPER, mars 2013 - août 2014), Magali FAVIER (bourse Auvergne Innovation, janv. 2013 - mars 2013), Amine MESBAHI (ingénieur Recherche Région Auvergne BPI, nov. 2013), Anil PATEL (PD, financement PRES puis FUI, 2010 – 2013), Rita SINGHANIA (financement FUI, 2010 – 2013), Emmanuelle REAUX (contrat Valeco2, 6 mois, 2014), Véronique TABONE (bourse Auvergne Innovation, 2012 – 2013), Églantine don SIMONI (ingénieur Recherche FRI2 Cluster, juin 2013 – déc. 2014)

Collaborateurs administratifs

Béatrice LOISEAU (UBP)

Hébergements d'entreprises en cours ou ayant pris fin durant la période d'évaluation

Nicolas BOURGNE (Sté NéoBioSys, depuis 2010), Grégory CHAMBON (Sté NéoBioSys, depuis 2010), Jean-Pierre CHERRÉ (Sté Métallurgie Innovation depuis 2001), Régis NOUAILLE (Sté AFYREN, juin 2010 - juin 2012), Julien TROQUET (Sté Biobasic Environnement, depuis 2002), Jérôme WARRAND (Sté AVUTEQ, 2008 - 2010)

Effectifs : récapitulatifs

Personnels

22 permanents EC (8 Pr, 12 MCF, 2 MCF HDR) soit :

- 5 Pr (CNU-62, UBP), 1 Pr (CNU-64, UBP), 2 Pr (CNU-62, ENSCCF)
- 6 MCF (CNU-62, UBP), 4 MCF (CNU-64/65, UBP dont 2 HDR), 4 MCF (CNU-62, ENSCCF)
- 3,5 BIATSS/ITA : 1 IE (UBP), 1 TECH (UBP), 0,5 TECH (ENSCCF), 1 ADJ TECH (UBP)
- 22 doctorants en cours (y compris cotutelles et codirections) et 18 thèses soutenues sur la période (y compris cotutelles et codirections)
- 4 Post doc et 3 CDD en cours
- 1 Post Doc et 6 CDD achevés sur la période

Le principal fait marquant est le recrutement de 9 EC (sur 22 au total au 30/06/2015) dans la période écoulée : 2 Pr (dont une promotion locale) ; 7 MCF (dont 5 recrutements extérieurs au laboratoire).

Répartition par établissement

16 EC UBP ; 6 EC ENSCCF ; 3 BIATSS/ITA UBP ; 0,5 BIATSS ENSCCF

Tous les personnels enseignants chercheurs à l'UBP sont affectés à Polytech Clermont-Ferrand.

Associés

2 PREM - 1 MCF-EM

4 ingénieurs en poste dans 3 entreprises hébergées

Effectifs	Nombre au 30/06/2015	Nombre au 01/01/2017
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires	22 (11 ETP)	23 (11,5 ETP)
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	0	0
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas obligation de recherche)	4,5	4,5
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC,...)	3	3
N5 : Autres chercheurs (DREM, Post Doc, visiteurs,...)	12	12
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas obligation de recherche)		0
TOTAL	40,5	41,5

Effectifs	Nombre au 30/06/2015	Nombre au 01/01/2017
Doctorants	22	-
Thèses soutenues	18	-
Post Doc (au moins 12 mois dans l'unité)	14	-
Nombre d'HDR soutenues	2	-
Nombre de HDR (ou assimilés)	10	11

Organisation de l'Axe GePEB

Organisation scientifique

L'Axe GePEB, **G**énie des **P**rocédés, **É**nergétique et **B**iosystèmes, réunit en majorité des enseignants chercheurs de génie des procédés, ainsi que des enseignants chercheurs de biochimie appliquée, de microbiologie industrielle et de physicochimie (section 10 du CNRS et sections 62, 64 et 65 du CNU). Les activités de l'Axe GePEB se situent dans le domaine général du génie des procédés biologiques et alimentaires. L'Axe GePEB reprend l'ensemble des activités du Laboratoire de Génie Chimique et Biochimique (LGCB) qui a été fusionné avec le LASMEA et le LAMI pour créer l'Institut Pascal au 1^{er} janvier 2012 de façon à regrouper dans une seule unité toutes les activités de recherche en Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes sur le site clermontois.

Avec des visions qui s'enrichissent mutuellement et se complètent et une expérience forte de la multidisciplinarité, les enseignants chercheurs de l'Axe GePEB sont attachés à l'approche systémique, au recours à la modélisation et à la préoccupation de déboucher sur des applications. En se basant sur l'identification de verrous scientifiques et technologiques, l'Axe GePEB privilégie une approche autant analytique qu'intégrative, de façon à prendre en compte : des biocatalyseurs par essence évolutifs, des milieux réactionnels complexes, des technologies et des modes opératoires spécifiques ainsi que la productivité et la qualité des produits générés.

L'implication des enseignants chercheurs de l'Axe GePEB dans le programme transversal de l'Institut Pascal, en particulier sur l'action transversale **Innovation dans les Bioprocédés**, permet d'enrichir cette approche. Cette action transversale, dont le bilan figure à la section 2.5, concerne le développement de capteurs pour le contrôle avancé des bioréacteurs, des études relevant de l'interaction ondes électromagnétiques / vivant (effets des hyperfréquences, calcul de propriétés radiatives de micro-algues), ou encore le couplage de microorganismes avec des nanofils pour diverses applications.

Souhaitant conforter l'expérience acquise dans la période précédente pour mener des travaux de recherche aux interfaces entre plusieurs disciplines, les enseignants chercheurs sont impliqués dans plusieurs thèmes scientifiques. Ces thèmes ne suivent pas une partition de l'Axe GePEB en sous-équipes distinctes. L'Axe GePEB fonctionne en mode « projets » dans des configurations qui impliquent des nombres différents de permanents en fonction des spécificités des différents sujets et de leur ampleur.

En effet, compte tenu du nombre de recrutements d'enseignants chercheurs dans la période précédente (9/22), il était important de trouver un mode organisationnel qui crée de véritables échanges scientifiques et des coopérations réelles autour de problématiques précises. C'est ce qui a été fait en classant les différentes activités suivant quatre actions générales, tous les EC intervenant et apportant leur contribution dans plusieurs de ces actions :

- génie des bioréacteurs et des systèmes photoréactifs ;
- procédés d'obtention de biomolécules ;
- génie des procédés alimentaires et propriétés d'équilibre dans les solutions biologiques et alimentaires ;
- étude des écosystèmes clos artificiels biorégénératifs.

La présentation détaillée des réalisations de l'Axe GePEB dans la suite de ce document suivra ce mode de classement.

Organisation fonctionnelle

Gouvernance

L'Axe GePEB est coordonné par un responsable élu pour une période de quatre ans et un responsable adjoint proposé par ce dernier. Le responsable actuel est Claude-Gilles DUSSAP. Le responsable adjoint est Christophe VIAL.

Le comité d'axe se réunit au moins une fois par mois. Il est constitué de l'ensemble des enseignants chercheurs de l'Axe et des personnels administratif et techniques permanents affectés à l'Axe. Le comité d'axe est le lieu d'échange des informations en provenance du directoire qui concernent la stratégie générale de l'Institut Pascal. Le comité d'axe est également l'instance de concertation interne sur le fonctionnement de l'Axe, sa stratégie scientifique, l'avancée des différents projets et le suivi budgétaire. Il a également pouvoir pour faire remonter à la direction du laboratoire l'ensemble des orientations relatives au fonctionnement et à la stratégie scientifique de l'Axe, à savoir : décision sur la distribution des crédits récurrents et sur l'affectation des crédits de fonctionnement et d'investissement entre les différents projets ; décision sur les investissements à réaliser ; pré-classement des sujets de bourses de thèses proposés aux Écoles Doctorales ; demande de moyens CNRS ; dépôts de demandes de financements Région ; dépôt de projets ANR ; dépôt de programmes européens ; choix et classement des professeurs invités ; listes des stagiaires de Master, etc.

L'assemblée générale de l'Axe GePEB se tient au moins une fois par an. Elle réunit toutes les parties prenantes de l'Axe, personnels permanents, contractuels, post-doctorants et doctorants.

L'animation scientifique de l'Axe GePEB est assurée sous forme de séminaires d'Axe, en moyenne bimensuelles, intitulés « cafés GePEB » entre 12h et 14h, durant lesquels les travaux sont présentés par les chercheurs permanents et non permanents devant la totalité des membres de l'Axe.

Equipements spécifiques/Plateformes

Les locaux dévolus aux activités de recherche de l'Axe GePEB se situent sur un lieu unique, dans l'ERP de Polytech Clermont-Ferrand, en cohérence avec les activités d'enseignement et de transfert de technologie. L'Axe GePEB dispose des moyens expérimentaux nécessaires pour mener à bien ses travaux. Il s'agit notamment de :

- Bioréacteurs de 100 mL à 10 L (cuves agitées, lits fixes, etc.) instrumentés pour des cultures de microorganismes aérobies, anaérobies et photosynthétiques.
- Photo-bioréacteur à dilution interne du rayonnement DiCoFluV (pilote 30 L) ; Photo-réacteur torique (200 mL) ; cellule photo-électrochimique MinuCell ; Spectroradiancemètre ; Banc optique de haute précision équipé d'une sphère d'intégration de 15 cm de diamètre ; simulateur solaire (classe A).
- Chaînes d'analyses de gaz en ligne (O₂, CO₂, CH₄, H₂).
- Chaînes d'analyse chromatographiques (GC, GC-MS, HPLC, FPLC, HPAEC : chromatographie ionique).
- Spectroscopie Infrarouge - ATR (FTIR).
- Pilote de foisonnement ; lyophilisateur ; ultrafiltration tangentielle ; pasteurisateur pilote ; homogénéisateur haute pression ; unité pilote d'atomisation.
- Matériels de caractérisations électrochimiques (dont spectroscopie d'impédance électrochimique) ; unité d'électrocoagulation en continu avec pilotage programmable de la tension et du courant et suivi du pH.
- Mesure de surface spécifique, BET.
- Unité pilote instrumentée de déshydratation.
- Rhéomètres (DMA et ARG2).
- Analyses thermiques de matériaux : DSC et ATG.
- Tensiomètre statique.
- Système de trajectographie optique.
- Microscopes optiques et microscope AFM ; caméra haute résolution pour analyse de rupture de bulles.

Pour des analyses spécifiques, le laboratoire fait appel aux moyens techniques du site clermontois, notamment le Centre Régional de Mesures Physiques (CRMP), devenu UBP Start en 2014, qui héberge la plate-forme "Metabolic Profiler" d'analyse et de caractérisation du métabolisme cellulaire.

En outre, l'Axe GePEB utilise, conjointement avec l'ENSCCF et Polytech Clermont-Ferrand, une halle d'essais qui permet d'héberger des dispositifs pilotes et certaines installations utilisées par deux des entreprises hébergées : Biobasic Environnement et NeoBioSys.

Cartographies récapitulatives

Production scientifique

✓ *Communications écrites*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
ACL	21	35	28	27	28	28	167
ACLN		1				1	2
OS	3	2	3			3	11
DO	5	2		3	2	1	13
ACTI	12	3	16	14	20	12	77
ACTN	1	4	4	19	8	1	37
							307

Dans la période écoulée, la production scientifique a été de 167 ACL soit en moyenne 1,5 ACL par enseignant chercheur et par an, sachant que le nombre d'enseignants chercheurs de l'Axe est passé de 17 à 22 durant la période, soit un nombre moyen de 20 ETP. Cette production scientifique ramenée au nombre d'enseignants chercheurs est au même niveau que dans la période précédente d'évaluation.

A la production scientifique en termes d'ACL, s'ajoute 13 co-directions d'ouvrages, tous à l'international, dont 6 publiés chez Elsevier, et 11 chapitres publiés dans des ouvrages internationaux. Ces ouvrages portent sur des domaines au centre des problématiques scientifiques de GePEB comme "Biofuels" et "Agrofoods".

Citons des ouvrages de référence liés aux aspects "bioénergies" comme :

- Industrial Biorefineries & White Biotechnology. Elsevier (2015)
- Pretreatment of Biomass. Elsevier (2014)
- Biohydrogen. Elsevier (2013)
- Biofuels – Alternative feedstocks and conversion processes. Elsevier (2011)

La répartition des IF pour les publications ACL s'établit comme suit :

	IF < 2	2 < IF < 5	5 < IF < 10	IF > 10	TOTAL
2015	11	14	3		28
2014	9	16	3		28
2013	8	18	1		27
2012	10	16	1	1	28
2011	10	23	2		35
2010	6	15			21
	54	102	10	1	167

Environ 2/3 des publications ont des facteurs d'impact compris entre 2 et 5, ce qui est l'intervalle où se situent la plupart des meilleures revues de génie chimique. C'est donc tout à fait normal et parfaitement cohérent avec le barycentre des activités de l'Axe GePEB en génie des procédés et des bioprocédés. On retrouve ainsi dans cette classe des publications dans "Chemical Engineering Journal", "Chemical Engineering Science", "The Canadian Journal of Chemical Engineering", etc. et aussi dans des revues liées au génie biologique et alimentaire "Meat Science", "Applied Biochemistry and Biotechnology", "Food Chemistry" ou encore dans des revues liées aux activités poly- et oligosaccharides, par exemple dans "Carbohydrate Polymers", "International Journal of Biological Macromolecules", etc.

Les publications dans des journaux à IF < 2 concernent en particulier les revues du domaine spatial ("Life Science in Space Research"), qui ont un IF plus faible en raison de la taille réduite de la communauté scientifique concernée. Les publications dans des revues à IF > 5 concernent en particulier "Bioresource Technology" (6 publications sur 10).

✓ *Communications orales*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
INV	7	8	9	4	4	7	39
COM	26	14	27	36	34	12	149
AFF	3	13	8	4	15	3	46
							234

Les EC de l'Axe GePEB ont donné 39 conférences sur invitation, la plupart dans des colloques internationaux, notamment en Asie, aux Etats-Unis et en Amérique du Sud. On citera notamment :

- NHBT (New Horizon in Biotechnology) : invitations en 2011 (5 invités de l'Axe GePEB) et 2015 (4 invités de l'Axe GePEB) à Trivandrum (Inde) pour donner en particulier les conférences inaugurales devant plus d'un millier de participants, essentiellement asiatiques et indiens.
- IFIBiop (International Forum on Industrial Bioprocesses) : invitations de plusieurs EC de l'Axe GePEB en 2010 (Curitiba – Brésil), 2012 (Tapei – Taiwan) et 2014 (Lille) à ce colloque international réunissant entre 500 et 1000 participants du monde entier.
- ESBES (European Symposium on Biochemical Engineering Sciences) Invitation (et organisation) à Lille en 2014 pour plus de 10 personnes de l'Axe GePEB
- CESE 2013 (International Conference on the Challenges in Environmental Science & Engineering) Corée, Daegu.
- BEST 2013 (International Conference on Bioenergy, Environment & Sustainable Technologies), Tiruvannamalai, Inde.
- ICIB 2012 (International Conference on Industrial Biotechnology) Patiala, Inde.
- ISNS 2013 (International Symposium on Neutron Scattering) Mumbai, Inde,
- IDMRCS 2013 (7th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems) Barcelone.
- Université Mouloud Mammeri, (Algérie, 2010, 2011).
- 3rd Silab' days (Paris, 2011).

Enfin, le nombre important de communications dans des congrès nationaux et internationaux témoigne du rayonnement des recherches de l'Axe GePEB et de la préoccupation de faire intervenir par oral les doctorants et post doctorants dans des congrès.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Notoriété des EC de l'Axe GePEB

Certains h index (Google Scholar) des EC de l'Axe GePEB sont reportés dans le tableau ci-dessous. Ceci donne une indication de la notoriété des travaux du collectif GePEB.

h index	h index depuis 2010	Nombre de citations	Nombre de citations depuis 2010	Publications citées plus de 100 fois
28	18	2112	1049	3
28*	17	2238	882	1
25	19	2523	1818	6
23	16	1988	840	4
22	19	1812	1142	4
21	18	1356	1045	3
15	11	764	497	1
15	13	649	521	2
14	13	709	475	2
13	11	527	414	1
13	10	546		
12	10	504	504	1

* = PR Emérite.

✓ Invitations et attractivité internationales

Les EC de l'Axe GePEB ont été invités dans 39 conférences, la plupart à l'international, durant la période d'évaluation (cf ci-dessus).

L'attractivité internationale se traduit également par la participation à plusieurs programmes de collaboration et d'échanges internationaux avec l'Inde, la Roumanie, l'Algérie, la Belgique, les Pays-Bas, Madagascar, la Suède, le Brésil, La Suisse, le Canada, l'Espagne, le Maroc.

Par ailleurs l'Axe GePEB a invité des chercheurs de renommée internationale, pour des durées globales d'en moyenne deux mois par an, sur des financements obtenus par Polytech Clermont-Ferrand ou par le LabEx IMobS3. Ceci a permis notamment de conforter l'expertise sur le domaine "Biofuels" et "Industrial Biorefineries".

Enfin, plus de la moitié des doctorants et post doctorants présents dans l'Axe GePEB ont obtenu un Master d'une université étrangère avant de s'inscrire, soit directement en doctorat avec l'équivalence et le niveau scientifique requis, soit dans le cas contraire en acquérant le Master Nutrition et Sciences des Aliments avant de s'inscrire en thèse.

✓ Conventions bilatérales et multilatérales

Type		Partenaires	Dates
International	MOU MELISSA	ESA Univ. Autonoma de Barcelona (E) Univ. de Ghent (B) Univ. de Mons (B) Univ. de Guelph (CND) Univ. de Naples Federico II (I) Univ. Lausanne (CH) VITO (B) SCK-CEN (B) Sté Sherpa Engineering (F) Sté Enginsoft (I) Sté IPStar BV (NL)	Depuis 1995 renouvelé en 2015 jusqu'à 2019
International	TASSILI	Accords de coopération avec l'Algérie (1 co-encadrement de thèse)	2010- 2014 2015 - 2018

International	Collaborations bilatérales	Conventions bilatérales de collaboration avec les universités de Anstiranana, Mouloud Mammeri, (Tizi Ouzou) et Kasdi Merbah (Ouargla) : 3 co-tutelles de thèse	Depuis 2007
International	Convention de co-tutelles	Université libanaise	Depuis 2013
International	Convention de co-tutelles	Conventions de collaboration avec les universités de Bacau et Bucarest (Roumanie) : accord de double diplôme, extraction et bioraffinerie des algues de la Mer Noire (2 codirections de thèse).	Depuis 2011
International	Convention de coopération	Participation à la Fondation MELISSA et au programme « POMP », « Pool of MELISSA PhDs » pour le financement de doctorants en Europe.	Depuis 2015
National	Unité Mixte Technologique APROCEL Réseau Mixte Technologique Qualima	Participation à l'UMT APROCEL UMT 11.2 « Procédés de transformation des produits carnés », créée en 2006 et renouvelée en 2011, en partenariat avec l'ADIV et l'INRA.	Création en 2006 et renouvelée en 2011
National	CNES	Convention de collaboration avec le CNES sur la simulation de l'atmosphère d'un habitacle et la croissance de plantes supérieures en microgravité (2 thèses cofinancées).	2008 – 2011 et 2014 - 2017
National	Fédération FédESol	Coordination de l'Axe « Photo-procédés » de la « Fédération CNRS de l'énergie solaire » (FédESol) impliquant les laboratoires Rapsodee, PROMES, CETHIL, Institut Fresnel, GEPEA, Laplace, etc.	Depuis 2014
National	StarWest	Participation au groupe StarWest (laboratoires Laplace, Rapsodee, PROMES, CRCA, LMD, etc.) sur la physique du transport : méthodes de Monte Carlo pour des systèmes complexes non linéaires.	Depuis 2013
National	IMObS3 & SOLSTICE	Projet collaboratif inter-LabEx (IMObS3 et SOLSTICE) sur la formulation intégrale des équations de Maxwell pour des applications à la photosynthèse naturelle et artificielle.	Depuis 2014
National	ALGUE	Collaboration avec l'Idex de Toulouse (projet ALGUE) sur la modélisation des propriétés radiatives de micro-algues de géométries complexes.	Depuis 2014
Local	IMObS3	Coordination du défi 3 du LabEx IMObS3 : « Procédés de production d'énergie pour la mobilité » : 6 actions sur 8	Depuis 2012

✓ *Prix et distinctions*

Les EC, les doctorants et post doctorants ont obtenu durant la période d'évaluation les prix et distinctions suivantes :

- Prix scientifique DERBI/JNES 2014 (prix national récompensant une contribution remarquable dans le domaine de l'énergie solaire)
- Best Reviewer Award 2014 pour la revue Bioresource Technology.
- Best Student Paper Award of the 2014 International Conference of Chemical Engineering, San Francisco USA.
- 2ème prix jeune chercheur de la ville de Clermont-Ferrand 2014.

- Prix du poster CODEGEPRA (2014) - Comité de Développement du Génie des Procédés en région Rhône-Alpes-Auvergne.
- Prix de la meilleure thèse en génie des procédés du CODEGEPRA (2015).
- Prix du meilleur poster au 40th International Conference on Environmental Systems, ICES, 2010
- Prix de la meilleure présentation 9th International Student Conference on Advanced Science and Technology ICAST 2014, Clermont-Ferrand.

✓ *Comités éditoriaux/Comités scientifiques/Comités d'organisation*

Les chercheurs de l'Axe GePEB font partie de plusieurs comités éditoriaux de revues internationales :

- Bioresource Technology (groupe Elsevier, facteur d'impact : 5.0) : C. Larroche depuis le 01/09/2008 est un des trois éditeurs de la revue. C.G. Dussap est également membre du comité éditorial de Bioresource Technology qui comprend 20 membres. Bioresource Technology traite plus de 7000 propositions d'articles par an et est une des premières revues au monde du domaine.
- Comité éditorial de Indian Journal of Biotechnology.
- Comité éditorial de Recent patent in Biotechnology (depuis 2007).
- Comité éditorial de Open biotechnology Journal (depuis 2007).
- Comité éditorial de Current Biotechnology (2011 – 2013).
- Comité éditorial de Algerian journal of arid Environment (depuis 2012).
- Membre du comité d'édition de la revue Brazilian Archives of Biology and Technology (depuis 2008).
- Membre du comité d'édition de la revue International Review in Chemical Engineering (depuis 2009).
- Membre du comité d'édition de la revue des industries alimentaires et agricoles (IAA) (depuis 2000).

En outre, les chercheurs de GePEB assurent des expertises d'articles (100 à 150 par an au total) pour d'autres revues comme :

- AIChE Journal
- Chemical Engineering Journal
- Chemical Engineering and Processing
- Chemical Engineering Research and Design
- Chemical Engineering Science
- Canadian Journal of Chemical Engineering
- J. of Fluid Mechanics
- Computers & Fluids
- Biotechnology Progress
- Biotechnology Advances
- Applied Biochemistry and Biotechnology
- Biotechnology for Biofuels
- Bio-hydrogen Production
- Brazilian Archives of Biology and Technology
- Advances in Space research
- CEAS Space Journal
- Journal of Food, Agriculture & Environment
- Food Engineering
- Food Chemistry
- Environmental Science and Pollution Research
- Desalination
- Carbohydrate Polymers
- Colloids & Surfaces A
- Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer
- Materials Science in Semiconductors Processing
- Hydrometallurgy
- International Journal of Mineral Processing

Les chercheurs de l'Axe GePEB interviennent également dans plusieurs organisations internationales et ont été membres de différents comités d'organisation de congrès :

International

- Présidence du forum IFIBiop (2004 – 2014) : International Forum on Industrial Bioprocesses qui succède à l'International Congress on Bioprocesses in Food Industries (<http://ifibiop.org>) et qui vise à établir un réseau mondial d'échanges pour le développement des bioprocédés.
- Secrétariat exécutif du forum IFIBiop.

- Membre du comité scientifique et d'organisation du 4th International Congress on Bioprocesses in Food Industries (Curitiba, Brésil, 2010).
- Membre du comité d'organisation de la 5th International Conference on Industrial Bioprocesses (Taipei, 2012).
- Membre du comité d'organisation de l'International Conference on Industrial Biotechnology (Punjab, Inde, 2012).
- Présidence de la conférence New Horizons in Biotechnology, Trivandrum - Inde, 2011 et 2015.
- Membre du comité scientifique et d'organisation du congrès Européen ESBE – IFIBiop (European Symposium on Biochemical Engineering Sciences) (Lille, 2014).
- Membre du comité scientifique et d'organisation du Colloque COFROCA (Colloque Franco-Roumain en Chimie Appliquée) depuis 2004.
- Membre du comité d'organisation du COSPAR (Committee on Space Research, Moscou 2014, Istanbul 2016).
- Organisation du « 7th International Microbial Space Workshop » (IMSW), Clermont-Ferrand 2011 (200 participants).

National

- Membre du conseil d'administration du CODEGEPPA (Comité de Développement du Génie des Procédés en région Rhône-Alpes Auvergne).
- Organisation à Clermont-Ferrand en 2015 de l'école thématique du GDR CNRS Ingénierie des biosystèmes : de la cellule au procédé.
- Membre du Comité d'organisation des colloques de la Société Française de Thermique (2012-2015).
- Membres des comités scientifiques des congrès de la Société Française de Génie des Procédés : Lyon – 2013, Nice – 2015.
- Membres du comité scientifique des Journées Nationales de l'Energie Solaire 2014 et 2015 à Perpignan.
- Membres du comité scientifique des JSMTV (Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande).
- Membres du comité d'organisation des séminaires nationaux Photo-procédés de la fédération FedEsol (Albi 2013 ; Clermont-Ferrand 2014 et 2015).

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

La coordination du programme européen MELISSA est assurée par l'ESA avec une équipe projet localisée à l'ESTEC (centre technique de l'ESA à Noordwijk - Pays-Bas). Les chercheurs de l'Axe GePEB sont très souvent sollicités par cette équipe projet pour tous les aspects stratégiques et opérationnels qui concernent l'étude, la modélisation, le développement et les aspects contrôle des sous-systèmes de la boucle de recyclage. Plus particulièrement, ils participent directement à la mise en route et au suivi du fonctionnement du centre d'essais européen installé à l'Université Autonoma de Barcelona (MELISSA Pilot Plant - MPP).

L'Axe GePEB coordonne le groupement de recherche GdR CNRS 3071 Ingénierie des biosystèmes : de la cellule au procédé.

L'Axe GePEB coordonne l'axe Photo-procédés de la fédération CNRS de recherche sur le solaire FédEsol (une dizaine de laboratoires CNRS + IRSTEA).

✓ *Expertises*

Les EC de l'Axe GePEB sont intervenus pour différentes expertises, tel que :

- Expertises de programmes ANR : 15, y compris les revues de projets.
- Expertise pour le PIA 1 – programme « Biotechnologies et Bioressources » : 1
- Expertise HCERES : 10
- Expertise pour le National Science Center Poland : 1
- Expertise au Romanian National Council for Development and Innovation (2011).
- FNRS (Belgique) : 8
- STW (Pays-Bas) : 4
- Expertise CIR : 2 rescrits, 1 contrôle.
- Expertises pour la Région Rhône Alpes de programmes ARC.
- Délégué scientifique HCERES depuis 2013 (Domaine scientifique : SVE2_LS9)

Projets collaboratifs académiques

Dans la période d'évaluation, le taux de succès aux réponses aux appels d'offre ANR a été supérieur à 40 %. Ceci est considéré comme un bon score, bien qu'il y ait une décroissance de ce taux ces dernières années. Il faut noter que

l'Axe GePEB a eu une stratégie de pilotage sur le choix des appels à projets de façon à développer ses activités sur ses points forts et à favoriser les collaborations internes entre les disciplines et entre les chercheurs.

Niveau local

- Implication dans le défi 3 du LabEx IMobS3 sur l'aspect **Procédés de production d'énergie pour la mobilité** : étude des procédés de production de vecteurs énergétiques par voie biologique, photo-biologique et photochimique ; ceci se traduit par la participation à 6 actions de recherche sur les 8 actions que comporte ce défi.
- Participation à l'Unité Mixte Technologique 11.02 **Rationalisation et amélioration des procédés de transformation des produits carnés élaborés** (Aprocel) avec une implication dans un des 4 axes stratégiques définis par cette UMT (l'axe Outils) qui porte sur la modélisation des propriétés physicochimiques.
- Co-responsabilité de l'action BioCube (Biomolécules, Biomatériaux, Bioprocédés) de l'Axe Innov@Pôle du CPER 2012-2015.

Niveau national

- Participation à 9 programmes ANR dont 4 en position de coordination.
- Coordination du Groupement de Recherche CNRS 3071 "Ingénierie des Biosystèmes : de la cellule au procédé" avec une intensification des partenariats avec le Laboratoire de Génie des Procédés - Environnement Agroalimentaire (GEPEA – UMR CNRS 6144 - Université de Nantes). Plusieurs programmes ANR ont été obtenus dans ce cadre, notamment sur l'étude des systèmes de cultures de micro-algues (ANR : Biosolis, ANABIO H2, PRIAM et ALGO H2).
- Participation aux travaux du Groupement de Recherche CNRS PROBBE (Processus Biologiques et Bioinspirés pour l'Énergie).
- Coordination de l'axe « Photo-procédés » dans la Fédération CNRS de l'énergie solaire (FédESol).
- Implication dans la création du GDR Solar Fuels avec la coordination de l'axe Intégration / Procédés / Couplage de procédés avec pour objectif de promouvoir la production de carburants solaires.
- Collaboration avec l'Idex de Toulouse sur le projet ALGUE portant sur la modélisation des propriétés radiatives de micro-algues à géométrie complexe.
- Collaboration inter-LabEx (IMobS3 et SOLSTICE) sur la détermination de propriétés radiatives.
- Collaboration avec le GDR MFA (Micropesanteur Fondamentale et Appliquée, CNRS 2799)
- Collaboration avec le CNES sur la simulation de l'atmosphère d'un habitacle en partenariat avec le laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres (M2P2, UMR CNRS 7340).
- Participation au projet ADEME Algue-I-Gaz.
- Participation au réseau mixte de technologie RMT Qualima sur la maîtrise de la qualité microbiologique des aliments avec 6 centres techniques (dont l'ADIV), 4 organismes de recherche (dont l'INRA Theix) et 4 lycées agricoles.
- Collaboration régulière pour l'étude de l'influence du confinement de matériaux et solutions à l'échelle nanoscopique avec le laboratoire Léon Brillouin (UMR 12 CEA-CNRS), le Laboratoire de Chimie Physique d'Orsay (UMR CNRS 8000) et le Groupe Génie des Procédés de l'ENSTA-ParisTech.
- Collaboration régulière avec l'UMR Institut des Sciences Chimiques de Rennes (UMR CNRS 6226) équipe Chimie Ingénierie des Procédés : électrocoagulation appliquée à l'élimination des micropolluants (thèse cofinancée).

Niveau international

- MOU MELISSA : développement de collaborations fortes sur l'étude des systèmes de support vie biorégénératifs. Le contrat cadre (Memorandum Of Understanding) "Micro-Ecological Life Support System Alternative: MELISSA" est coordonné par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), les partenaires ayant le contrôle sur la diffusion et la propriété industrielle.
- Collaborations avec l'Université Autonoma de Barcelona dans le cadre de la création du centre d'essais "MELISSA Pilot Plant" pour lequel les chercheurs du laboratoire développent une partie de l'ingénierie et l'ensemble de la modélisation des systèmes et sous-systèmes. Dans le même cadre l'Axe GePEB a notamment des relations et des partenariats suivis avec les universités de Mons, Ghent, Guelph (Canada) et Lausanne ainsi qu'avec le SCK-CEN (équivalent du CEA en Belgique).
- Conventions de collaboration avec les universités de Bacau et Bucarest (Roumanie)
- PICS CNRS avec l'école supérieure de technologie de Casablanca (Maroc).
- Convention de collaboration avec le CNRST (Maroc) impliquant l'École Supérieure en Ingénierie Chimique ESTEQ Tarragone, l'INRS (Canada) et l'INSA de Rouen : électrocoagulation appliquée au prétraitement de l'eau de mer.
- Projets Hubert Curien TASSILI avec l'Algérie (Universités de Tizi Ouzou et Ouargla).
- Programme AUF Océan Indien avec Anstiranana (Madagascar).

	Type	Nombre
Nationaux	ANR	5+4* = 9
	▪ ANR Programme Bioénergies	2+1* = 3
	▪ ANR Programme Ecotechnologies	1
	▪ ANR Programme Blanc	1+1* = 2
	▪ ANR Programme Alia	1*
	▪ ANR Emergence	1+1* = 2
	PIE (Photorad)	1
	PEPS (CNRS)	7*
	ADEME	2
	▪ Algue-I-Gaz	
	▪ Extraction de principes actifs	
	LabEx IMobS3	6
	LabEx SOLSTICE	1
I dex Toulouse (projet ALGUE)	1	
Projet région CPER Innovapole	2	
Projet région CPER : T3A	1	
UMT Aprocél	1	
Projets collaboratifs CNES	2*	
Internationaux	Contrats en relation avec le MOU MELISSA (ESA + 14 partenaires européens)	9
	▪ Contrats en leadership sur les compartiments III et IV	2*
	▪ Contrat cadre de suivi du MELISSA Pilot Plant (MPP Barcelone)	1*
	▪ Sous-contrats de partenaires du groupe MELISSA	6
	Topical team (Transferts gaz liquide en apesanteur)	1*
	Projets PHC TASSILI	2
PICS CNRS	1	

* : Projet coordonné.

Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

✓ Entreprises hébergées/Programmes de transfert de technologie/Mandats institutionnels

L'Axe GePEB a de nombreuses actions de valorisation et de création d'entreprises qui se manifestent tout d'abord au niveau local par :

- L'hébergement dans les locaux du laboratoire de 5 entreprises durant le contrat écoulé dont 4 en création : Métallurgie Innovation, Afyren, Biobasic Environnement, NéoBioSys, AVUTEQ.
- 3 Programmes FRI2 : RedPot 1 et 2 (contrôle commande du Redox en bioréacteur avec les sociétés NéoBioSys, PROBIONOV, GPCBio) ; LUMILED (avec ICCF, REVLUM, SIBYLUX, Fuji Electric).

Mandats institutionnels au niveau local :

Au niveau local, les membres de l'Axe GePEB assurent des fonctions de conseil et de représentation dans différentes instances directement en lien avec l'environnement socioéconomique du laboratoire :

- Collaboration historique avec l'ADIV (Association pour le Développement de l'Institut de la Viande), avec différentes fonctions assurées par les membres de l'Axe GePEB : membre du conseil d'administration, du conseil scientifique, trésorier de ADIV association, portage du dossier de l'unité mixte de technologie, etc.
- Présidence du GIS « Pôle Viande et Produits Carnés ».
- Membre du Conseil d'administration du pôle de compétitivité Céréales Vallée.
- Membre du Conseil scientifique du pôle de compétitivité Céréales Vallée.
- Membre du Conseil scientifique du Biopôle Clermont-Limagne.

- Membre du Conseil d'administration de Nutravita.
- Membre du Conseil d'administration de Pharmabiotec Research Institute.
- Membre du Conseil scientifique du GIS AOP Fromages.
- Membre du Conseil scientifique du cluster E2IA (cluster d'éco-entreprises pour l'Innovation en Auvergne).
- Membre du Conseil scientifique de l'ADIV.

Mandats institutionnels au niveau national :

Au niveau national, les EC de l'Axe GePEB interviennent également dans différentes fonctions de conseil et de représentation dans différentes instances en lien avec l'environnement socioéconomique et le développement du génie des procédés :

- Membre du groupe de travail « Agro-Bio » de la Société Française de Génie des Procédés (SFGP).
- Membre du conseil d'administration du CODEGEPRA (Comité de Développement du Génie des Procédés en région Rhône-Alpes Auvergne).
- Membre du Conseil scientifique de l'ACTIA (Association de Coordination Technique pour l'Industrie Alimentaire).
- Membre de la Commission Scientifique Spécialisée INRA « Sciences et Ingénierie des Aliments, des Matériaux, des Molécules pour la chimie et l'énergie ».

Mandats institutionnels au niveau international :

Au niveau international, on notera deux points importants pour lesquels les EC de GePEB ont une influence forte et déterminante :

- Le forum IFIBiop (International Forum on Industrial Bioprocesses) créé à Clermont-Ferrand en 2004 sous le nom ICBF (International Congress on Bioprocesses in Food Industries) est directement en lien avec l'exploitation industrielle des bioprocédés ; son développement a été assuré pour une large part sous la responsabilité des EC de l'Axe GePEB, avec la participation remarquable de personnalités scientifiques internationales de renommée mondiale, en provenance de l'Inde et des pays asiatiques notamment. Le changement de nom a été proposé et accepté en 2010. Ceci visait à orienter nettement ce forum d'échanges vers les applications industrielles, qu'il s'agisse de recherche, de formation ou de valorisation. C'est aujourd'hui un grand succès pour les aspects « Biofuels » et « Bioprocédés durables ».
- La participation en tant que membre permanent au comité de conseil auprès du Directeur Général de l'ESA pour les programmes d'exploration spatiale habités et automatiques. Ce comité (Human Spaceflight and Exploration Science Advisory Committee) ou « HESAC group », comprend 15 membres experts de l'Union Européenne. Il conseille le DG de l'ESA pour les programmes d'exploration spatiale à développer dans les prochaines décennies.

✓ *Productions*

4 brevets internationaux, 2 brevets nationaux :

- International patent : Solar photobioreactor with controlled volume flow dilution (DiCoFluV). WO/2012/069622.
- International patent : Adhesive composition including deacetylated chitosan. WO/2012/007697.
- International patent : Sulphated polysaccharide composition. WO/2014/076261.
- Brevet brésilien : C.R. Soccol, C. Larroche, E.B. Sydney (2013). Processo para produção de hidrogênio e ácidos graxos voláteis. PI 1005215-1 A8.
- Brevet Français : Procédé de détermination de l'activité enzymatique d'une enzyme et dispositif pour sa mise en œuvre. FR1454163.
- Enveloppe Soleau (n° : 5011 79 du 20/02/2014) Photo-procédés solaires hybrides – Systèmes de séparation spectrale sous concentration.

✓ *Activités contractuelles*

Le tableau suivant reprend les principaux contrats de recherche / transfert dans le cadre de financements FUI ou bien Fonds Régional pour l'Innovation (FRI) ou encore les contrats industriels les plus significatifs hors prestations de service.

Contrats		Nombre
FUI	FUI BAMI : développement de bioréacteurs à membrane immergée	1
	FUI Valeco 2 : valorisation économique et écologique des coproduits alimentaires	1

Projets région	Auvergne Maturation Sté AVUTEQ	1
	Fond Recherche Innovation FRI2 Cluster	3
	Biofilm Control 1 (Bourse Innovation Région en CDD BIR CDD)	2
	Verdot IPS2 (Bourse Innovation Région)	1
	M.S. SA (Bourse Innovation Région CDD)	2
Contrats industriels	Greentech	1
	Sté Roquette Frères	2
Plateforme de transfert	Contrat de pré-étude d'une plateforme R&D microalgues / Simulation de scénarios : Blue Cluster avec GEPEA, Total, Airbus	1

Formation

Les 22 EC de l'Axe GePEB enseignent, soit à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Clermont-Ferrand (ENSCCF), soit à Polytech Clermont-Ferrand. Tous effectuent donc l'essentiel de leurs services d'enseignement en écoles d'ingénieurs dans le cycle ingénieur.

Ils interviennent également dans différents Masters de l'Université Blaise Pascal : « Nutrition, Santé, Aliment » ; « Génome, Ecologie et Biotechnologies » ; « Analyse et Modélisation des Données pour les Sciences du Vivant ». Durant la période précédente, l'Axe GePEB a assuré le financement et l'encadrement de 25 stages de Master 2.

En outre, les EC de GePEB assurent un nombre important de responsabilités, avec un rôle important sur la structuration de l'offre de formation, notamment au niveau Master, du site clermontois :

- Responsable mention du Master « Nutrition, Santé, Aliment » pour l'UBP.
- Membre des conseils scientifique et pédagogique de l'ED SVAE (École Doctorale des Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement).
- Membre de la commission recherche de l'UFR sciences de l'UBP.
- Responsabilité de la filière SPI à l'ENSCCF et responsabilité du parcours génie chimique ; responsable informatique à l'ENSCCF.
- Responsabilité du département Génie Biologique de Polytech Clermont-Ferrand.
- Responsabilité du département Génie Physique de Polytech Clermont-Ferrand.
- Responsabilité de l'option transversale énergie à Polytech Clermont-Ferrand
- Direction de Polytech Clermont-Ferrand.
- Direction des études de Polytech Clermont-Ferrand.
- Animation du domaine "génie biologique - agroalimentaire" du réseau Polytech.
- Délégué général du réseau Polytech.

Cinq réalisations majeures de l'Axe

- **Avancées importantes en génie des systèmes photoréactifs** : établissement et validation de modèles de prédiction des propriétés radiatives de systèmes photoréactifs de forme complexe / conception et mise en œuvre d'un photobioréacteur intensifié à haute productivité volumique DiCoFluV. Situation de référence et collaborations nationales multiples pour les aspects « photo-procédés ». 3 programmes ANR ; 2 brevets.
- **Bioraffineries de biomasses complexes** : séparation de biomolécules à propriétés fonctionnelles ; Identification et caractérisation de polysaccharides avec des activités biologiques et techno-fonctionnelles originales ; valorisation de résidus végétaux pour la production de différents vecteurs énergétiques. 3 programmes ANR ; 3 brevets.

- **Développement de l'écosystème clos biorégénératif MELISSA** : implémentation des modèles de simulation développés au laboratoire pour l'intégration des différents éléments au sein du centre d'essais européen installé à l'Université Autonoma de Barcelona.
- **Ingénierie des bioréacteurs** : mise en place d'une technique de trajectographie optique pour la description des vitesses lagrangiennes par suivi multi-particules et d'une approche CFD pour la modélisation ; développement de techniques de mesure et contrôle du redox en bioréacteurs ; analyse et modélisation des équilibres et des cinétiques électrochimiques et thermodynamiques (3 FRI, 1 PEPS CNRS).
- **Nouveau modèle thermodynamique de solutions biologiques et alimentaires** : prédiction des coefficients d'activité de solutions électrolytiques complexes et des propriétés de formation en utilisant des simulations de chimie quantique (modèles de type COSMO). Position de référence en France pour les modèles de solutions électrolytiques. 1 ANR ; Contrat cadre avec la société PROSIM pour la partie Simulis Thermodynamics.

Analyse SWOT

Forces

- Véritable mise en synergie de compétences croisées en physique, biochimie, physicochimie avec une finalité et une thématique centrale de génie des procédés et des bioprocédés ; renforcement et montée en puissance des travaux collaboratifs entre les différentes disciplines au sein de l'Axe GePEB.
- Équilibre et synergie entre les sujets de recherche amont et les sujets applicatifs : intégration de l'étude des mécanismes et des phénomènes élémentaires à l'échelle du procédé.
- Intégration réussie et en synergie au sein de l'Institut Pascal, avec par exemple une participation active au programme transversal du laboratoire et des coopérations multiples avec les trois autres axes de l'Institut Pascal.
- Très bonne intégration de l'Axe GePEB au sein du Défi 3 du LabEx IMobS3 (Bioenergy Production Processes) avec une structuration réussie des thématiques de l'Axe de GePEB autour des activités « bioénergies – bioraffinerie ».
- Rayonnement national, européen et international important, notamment pour les thématiques « bioénergies », écosystèmes clos artificiels, systèmes photoréactifs, se traduisant par l'invitation et/ou l'organisation de nombreuses conférences internationales et une importante activité d'édition d'ouvrages et de revues de renommée mondiale.
- Activité dynamique en termes de valorisation (5 brevets), de maturation d'entreprises et d'activités contractuelles avec des entreprises nationales et internationales.
- Collaborations et partenariats nationaux et internationaux multiples, se traduisant par une activité de publication ouverte et dynamique.

Faiblesses

- Nombre faible de candidats locaux de niveau Master, en adéquation avec les thématiques de l'Axe GePEB ; pas de formation de niveau Master en génie des procédés à Clermont-Ferrand ; seulement 3 contrats doctoraux sur allocations ministérielles sur la période d'évaluation.
- Pas de chercheurs à temps plein CNRS ; pas de candidatures jusqu'ici ; nombre trop faible de personnels techniques pour supporter les activités expérimentales de l'Axe.
- Absence d'enseignement en génie des procédés à l'Université et de support de poste en 62ème section « Énergétique et génie des procédés » en dehors des écoles d'ingénieurs du site.
- Implication chronophage (mais nécessaire) des EC de GePEB dans les formations d'ingénieurs du site.
- Faiblesse des moyens récurrents, contraignant à un recours accru aux ressources contractuelles pour assurer les besoins courants en fonctionnement.
- Forte baisse du taux de succès aux ANR en 2014 et 2015.

Opportunités

- Intégration dans la région Auvergne Rhône Alpes : GePEB bénéficie d'une spécificité de compétences sur le génie des bioprocédés qui peut être associée aux forces en génie des procédés en Rhône Alpes, notamment dans le cadre du CODEGEPRAA (Comité de développement du génie des procédés en Rhône-Alpes Auvergne) ; possibilité d'intégrer les aspects « bioénergies » dans un cadre élargi avec les pôles de la région Rhône Alpes (AXELERA sur les aspects bioprocédés, TENERDIS - innovation pour les énergies renouvelables sur les aspects photo-procédés).
- Amplification des travaux en collaboration avec les autres axes de l'Institut Pascal, en prenant appui sur les collaborations existantes et avec des ouvertures possibles avec l'arrivée de l'ISIT.

- Candidatures CNRS possibles (section 10) au niveau CR.
- Possibilité d'intégration européenne (LIA CNRS ?) sur la thématique « écosystèmes clos spatialisables » avec les laboratoires des universités de Mons, Ghent, Lausanne et l'UAB.
- Possibilités de candidatures H2020 (réseaux européens établis) sur les thèmes « bioénergies », « systèmes durables », « systèmes clos artificiels ».

Risques

- Renouvellement de 4 postes de PR en 62ème section dans les 7 années à venir qui doivent être préparés.
- Dispersion apparente des sujets de recherche, si l'on s'en tient à l'affichage de la portée technologique des résultats de recherche au lieu d'une présentation générique en décrivant les "fronts de science".
- Affaiblissement trop important et durable des taux de succès aux ANR et aux appels d'offre équivalents ; généralisation du financement de la recherche par appels d'offre sur projets de courte ou moyenne durée sans garantir la maturation des compétences au sein du collectif ; impossibilité de mener des travaux de recherche, non nécessairement finalisés, sur le long terme.
- Alourdissement excessif des contrôles administratifs liés à la complexification des structures de décision ; dilution des forces vives dans des tâches administratives.

1.2.1.2. Réalisations scientifiques

Identité scientifique de l'Axe

Avec l'objectif d'étudier, d'analyser, de comprendre et de développer des procédés, des bioprocédés et des opérations de l'industrie alimentaire, les activités de l'Axe GePEB reposent, d'une part, sur l'acquisition de connaissances fondamentales sur la physique, la physicochimie et la biologie des phénomènes qui contrôlent les processus et, d'autre part, sur l'intégration des descriptions précédentes aux échelles macroscopiques du procédé.

Depuis sa création, les chercheurs de l'Axe GePEB ont fait le choix de travailler sur ces deux versants épistémologiques : analyse des processus élémentaires d'une part, et intégration dans la complexité d'un système d'autre part. La première phase de la démarche s'apparente à un positionnement réductionniste : réduire la nature complexe des phénomènes à un ensemble de lois et de principes fondamentaux, en l'espèce comprendre les processus limitants, les modéliser, comprendre leurs couplages et les maîtriser. La deuxième phase suit une démarche holistique : construire des unités structurales de complexité importante formant une totalité, c'est-à-dire assembler et décrire les interactions entre les phénomènes élémentaires de façon à considérer l'ensemble plutôt que les parties. C'est la nature même des objets et procédés qui sont étudiés qui impose cette approche « systémique » : les systèmes biologiques, les bioprocédés et les procédés sont par essence des « systèmes complexes ». Lorsqu'on souhaite acquérir de nouveaux savoir-faire méthodologiques et technologiques, ces systèmes doivent être appréhendés sous des angles multiples et complémentaires, en analysant puis en associant les différents phénomènes mis en jeu. C'est ce principe simple appliqué aux « biosystèmes » qui guide l'approche générale de l'Axe GePEB.

Cette approche systémique consiste donc à étudier les lois et les principes fondamentaux impliqués dans les procédés et bioprocédés, à les articuler entre eux et à analyser leurs interactions. L'étude des interactions entre les phénomènes élémentaires recouvre « l'analyse et la caractérisation des couplages ». L'analyse d'un système dans son ensemble et sa complexité est par conséquent construite progressivement. Ceci nécessite que soient associées dans la même démarche scientifique, d'une part, la volonté de remonter finement dans la compréhension des phénomènes élémentaires et, d'autre part, la préoccupation d'intégrer ces caractérisations élémentaires à l'échelle d'un processus ou d'un procédé pour déboucher sur les applications. Cette perspective générale porte le nom de « modélisation », terme qui contient implicitement l'analyse mécanistique et la compréhension des phénomènes élémentaires et aussi leur intégration à l'échelle du système, c'est-à-dire du procédé. On parle alors de « modèles de connaissance », de « paramètres réifiés », de « modèles robustes » ou encore de « modélisation prédictive ». L'approche scientifique de l'Axe GePEB est donc autant analytique qu'intégrative. Elle est nécessairement multi-physiques et multi-échelles. Elle est multidisciplinaire, associant l'analyse des étapes limitantes physiques, physicochimiques et biologiques ainsi que l'étude de leurs couplages.

Ceci conduit à développer des études poussées sur la description, la compréhension et la modélisation de certains phénomènes limitants, en allant chercher dans différentes disciplines les outils expérimentaux et théoriques indispensables afin les adapter aux cas d'espèce, c'est-à-dire à la maîtrise, la compréhension et l'optimisation des procédés et des bioprocédés.

Avec des enseignants chercheurs d'origines scientifiques différentes, en majorité de formation en génie des procédés, l'Axe GePEB est en mesure de traiter cette question difficile de l'interdisciplinarité et de la complémentarité scientifique. Cette transversalité est donc revendiquée fortement. Dans la période récente, l'association de compétences disciplinaires complémentaires sur la plupart des sujets traités a clairement montré que ceci constituait un avantage décisif. En pratique, les chercheurs de l'Axe GePEB ne souhaitent donc pas apparaître en sous-équipes distinctes, sachant que nombre d'entre eux interviennent sur plusieurs sujets et plusieurs applications différentes. C'était un objectif recherché qui était exprimé dans le projet pour le contrat quinquennal en cours. Cette interactivité entre différentes compétences scientifiques est considérée aujourd'hui comme un succès réel de l'Axe GePEB ; l'intégration dans l'Institut Pascal a par ailleurs grandement favorisé l'ouverture aux autres disciplines, tout en fournissant la visibilité et la crédibilité nécessaires à un travail de génie des procédés dont le cœur fait partie des sciences de l'ingénierie et des systèmes. En outre, le LabEx IMobS3 (Défi 3 « Bioenergy Production Processes for Mobility ») a fourni les éléments fédérateurs avec un effet de structuration réussie des thématiques de l'Axe GePEB autour des activités « bioénergies – bio-raffinerie ».

Les activités du Laboratoire se situent donc au carrefour de plusieurs champs disciplinaires, utilisant les connaissances et techniques fondamentales issues de disciplines disjointes : physique, physicochimie, biochimie et génie des procédés. L'utilisation des méthodes et de concepts du génie chimique permet un réel travail « d'assemblage » de disciplines, de théories et de techniques différentes pour traiter, avec des objectifs communs et des langages mutualisés, l'ensemble des étapes d'un procédé, qu'il soit biologique, alimentaire ou physicochimique. Les travaux de recherche traitent principalement des quatre grands secteurs d'application (ou actions de recherche) qui ont fait partie du projet de recherche de GePEB lors du précédent contrat :

- Génie des bioréacteurs et des systèmes photo-réactifs : cultures de micro-algues ; cultures de microorganismes aérobies et anaérobies pour l'énergie ; production d'hydrogène, y compris par catalyseurs bio-inspirés ;
- Procédés d'obtention de biomolécules : production de poly- et d'oligosaccharides à activités biologiques ; bioconversions ; fermentations sur substrats solides ; bioremédiation ;
- Génie des procédés alimentaires : procédés de foisonnement et d'émulsification ; propriétés rhéologiques et interfaciales dans les mousses et les émulsions alimentaires ; extraction et fonctionnalité des protéines de micro-algues ; propriétés d'équilibre dans les solutions biologiques et alimentaires ; thermodynamique appliquée ;
- Étude des écosystèmes clos artificiels biorégénératifs : système MELISSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative) de support vie pour l'exploration spatiale ; système BIOS 3.

Les différents sujets de recherche de l'Axe GePEB sont classés dans l'une ou l'autre de ces actions d'application, sans que l'on recherche une compartimentation étanche, et sachant également que certains sujets sont à l'intersection de plusieurs actions à la fois.

Chaque sujet de recherche est placé sous la responsabilité d'un enseignant chercheur, membre permanent du laboratoire. Celui-ci compose une équipe projet regroupant d'autres membres permanents et les chercheurs contractuels rattachés au sujet (doctorants, post-doctorants, chercheurs sous contrat). La composition de l'équipe projet est déterminée en fonction de l'orientation des travaux. Cette organisation permet de répartir les responsabilités des programmes de recherche, de nourrir des collaborations internes riches et de converger vers des langages et des approches communes.

Éléments contextuels

Au niveau local

- L'intégration dans l'Institut Pascal (depuis le 1er janvier 2012) a fourni les éléments de visibilité et de reconnaissance nécessaires ; les travaux dans le programme transversal du laboratoire fournissent également un réel apport scientifique à la discipline génie des procédés.
- L'implication dans le défi 3 du LabEx IMobS3 sur l'aspect « procédés de production d'énergie pour la mobilité » a conduit à structurer fortement les activités de l'axe autour des problématiques « bioénergies – bio-raffinerie » ; ceci se traduit par la participation à 6 actions de recherche sur les 8 actions que comporte ce défi.
- Dans le domaine « génie des procédés alimentaires », l'Axe GePEB a participé au renouvellement de l'Unité Mixte Technologique 11.02 « Rationalisation et amélioration des procédés de transformation des produits carnés élaborés » (Aprocel) avec une implication dans un des 4 axes stratégiques définis par cette UMT (l'axe « outils ») qui porte sur la modélisation des propriétés physicochimiques.

Au niveau national

Les activités de recherche de GePEB s'inscrivent fortement dans des réseaux nationaux. GePEB est impliqué dans 9 programmes ANR (dont 4 en coordination), 2 FUI et plusieurs fédérations de recherche et/ou GDR ; l'Axe GePEB a obtenu par ailleurs des financements CNRS PEPS et PIE, ADEME, CNES, etc. Les points suivants peuvent être plus particulièrement soulignés :

- Dans le domaine du génie des systèmes photo-réactifs, les chercheurs de l'Axe GePEB sont parfaitement reconnus et sont impliqués dans la plupart des fédérations et groupements de recherche et/ou réseaux nationaux qui traitent de l'analyse du transfert d'énergie radiative dans les procédés.
- Dans le domaine « systèmes de support vie », l'Axe GePEB bénéficie au niveau national depuis 4 ans de soutiens réguliers de la part du CNES.
- Le cœur des thèmes de recherche de GePEB s'inscrit pleinement dans les activités du Groupement de Recherche CNRS « Ingénierie des Biosystèmes : de la cellule au procédé », GDR que GePEB coordonne et qui a été renouvelé en 2015. Le LISBP (Toulouse), le LGC (Toulouse), GEPEA (Nantes), le LRGP (Nancy) et l'Institut Charles Viollette (Lille) participent à ce GDR.

Au niveau international

L'expertise de GePEB en termes de modélisation / simulation de bioprocédés est largement reconnue au niveau européen et international. Le contexte dans lequel s'exprime le laboratoire et où il développe ses sujets de recherche, s'intègre clairement dans des réseaux mondiaux. Citons en particulier :

- Pour l'aspect « systèmes de support-vie biorégénératifs pour l'exploration spatiale », les chercheurs de GePEB ont défendu depuis longtemps l'approche « systémique » avec la méthodologie du « génie des procédés », le recours à la modélisation par modèles de connaissance et la commande prédictive par modèle ; cette approche est utilisée aujourd'hui par la plupart des agences spatiales dans le monde afin de développer de façon générique des « Life Support Systems » de différents types.
- Pour les aspects « bioénergies – bio-raffinerie » le niveau d'expertise auquel intervient GePEB (colloque IFIBIOP, Travail d'édition pour la revue « Bioresource Technology », etc.) témoigne de sa visibilité internationale, en particulier en Amérique latine, en Asie, en Inde et aux USA.

Action 1 : Génie des bioréacteurs et des systèmes photo-réactifs

Cette action concerne le développement de méthodes et d'outils adaptés au génie des bioréacteurs et photo-réacteurs en prenant en compte les spécificités des microorganismes, l'importance des couplages entre phénomènes physiques et réponses métaboliques, l'hétérogénéité des milieux et la maîtrise des cinétiques de transfert physiques. Cette action est d'ailleurs en relation directe avec les actions de recherche 2 et 4 sur la production de biomolécules et les écosystèmes clos biorégénératifs.

Ceci peut être présenté suivant les différents niveaux d'échelle nécessaires à la description et indispensables à la maîtrise et au calcul des bioréacteurs. Les travaux ont porté sur les différents points suivants :

- Descripteurs métaboliques : calcul de flux métaboliques par des méthodes matricielles et analyse topologique de réseaux réactionnels et imbriqués complexes (Elementary Flux Modes) ;
- Analyse de l'énergétique cellulaire et représentation des couplages cinétiques et stœchiométriques : réduction des indéterminations sur les vitesses métaboliques par l'analyse thermodynamique des réseaux et la prédiction des couplages physicochimiques au niveau métabolique ;
- Analyse des propriétés radiatives des microorganismes et catalyseurs : détermination ab initio des propriétés optiques spectrales de particules (microorganismes, semi-conducteurs, complexes supramoléculaires, etc.) ; relations de Kramers-Krönig ; résolution de l'équation d'Helmholtz pour le calcul des propriétés radiatives d'un milieu diffusant et absorbant (particules de géométrie complexe) ;
- Modélisation du transport de photons au sein d'un photo-bioréacteur : détermination du champ de radiation au sein d'un milieu réactionnel ; approche électromagnétique (équations de Maxwell) ; approche radiative (équation de Boltzmann) ; utilisation des dernières avancées de la méthode de Monte Carlo intégrale pour la résolution des échelles méso-macro (physique statistique hors d'équilibre) ;
- Modélisation de la croissance de micro-organismes photosynthétiques : cultures de micro-algues procaryotes ; culture de micro-algues eucaryotes ;
- Modélisation de cultures de micro-organismes anaérobies : modélisation de cultures pures (batch, fed batch et continu) d'organismes anaérobies ; modélisation de consortia microbiens en anaérobiose ; prise en compte de l'hétérogénéité des milieux ;
- Modélisation des procédés de production d'H₂ solaire en photo-réacteur et cellules photo-électrochimiques, en utilisant notamment des catalyseurs bio-inspirés.

Sur le premier volet, en génie des systèmes photo-réactifs...

Les activités en « génie des systèmes photo-réactifs » ont connu un essor considérable durant la période d'évaluation en raison à la fois de l'investissement scientifique consenti depuis longtemps et de l'implication de l'Axe dans de très nombreux réseaux nationaux. Grâce à l'approche théorique prédictive multi-échelle développée pour la modélisation des photo-bioréacteurs pour la compréhension du transport de photons dans des milieux denses et réactifs, est née une thématique plus large qui étend aux systèmes physicochimiques photo-réactifs les compétences acquises sur les photo-bioréacteurs. Sachant que la plupart des photo-procédés sont limités par le transfert de rayonnement et relèvent d'un couplage thermocinétique non linéaire, leurs performances sont pilotées par la distribution de la lumière dans le volume où a lieu la photo-conversion. La modélisation des photo-procédés s'est donc focalisée sur une description fine du transfert radiatif, en incluant les avancées les plus récentes dans le domaine, ainsi que sur une formulation thermocinétique originale des couplages.

Les études théoriques sur les photo-bioréacteurs ont concerné l'optimisation des photo-procédés sous éclairage artificiel contrôlé. L'enjeu est ici de simuler le transfert de rayonnement au sein de la géométrie complexe d'un système et de coupler cette quantification du transfert radiatif à la cinétique réactionnelle et à l'énergétique de la photosynthèse. Trois niveaux de complexité ont été abordés : *i*) la modélisation et la simulation du transfert radiatif dans un milieu dense absorbant et diffusant de géométrie complexe, ceci étant associé à la conception et à la réalisation de dispositifs expérimentaux de distribution de l'énergie lumineuse au sein de milieux photo-réactifs ; *ii*) la modélisation et la simulation des propriétés radiatives (absorption, diffusion, fonction de phase, intervenant comme paramètres d'entrée de l'équation de transport des photons) de particules de formes quelconques et de taille du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de la radiation incidente ; *iii*) la formulation et la modélisation du couplage thermocinétique à la photosynthèse naturelle, basée sur la thermodynamique des processus irréversibles pour calculer de façon prédictive les observables cinétiques et énergétiques à l'échelle du réacteur. Cette approche novatrice a été couplée à la récente théorie constructale (design optimum sous contrainte énergétique) pour concevoir des photo-bioréacteurs à haute efficacité thermodynamique.

En particulier, le concept DiCoFluV de photo-bioréacteur à Dilution Contrôlée du Flux en Volume a été conçu par l'Axe GePEB pour atteindre l'efficacité maximale de la photosynthèse naturelle. Ce photo-bioréacteur a été assemblé et testé en cultures de micro-algues, dans un premier temps en lumière artificielle contrôlée pour confirmer les modèles dans des conditions d'intensification très particulières. La validation du concept en lumière solaire passe nécessairement par le développement d'une plateforme solaire dédiée, en cours d'élaboration sur le site PAVIN.

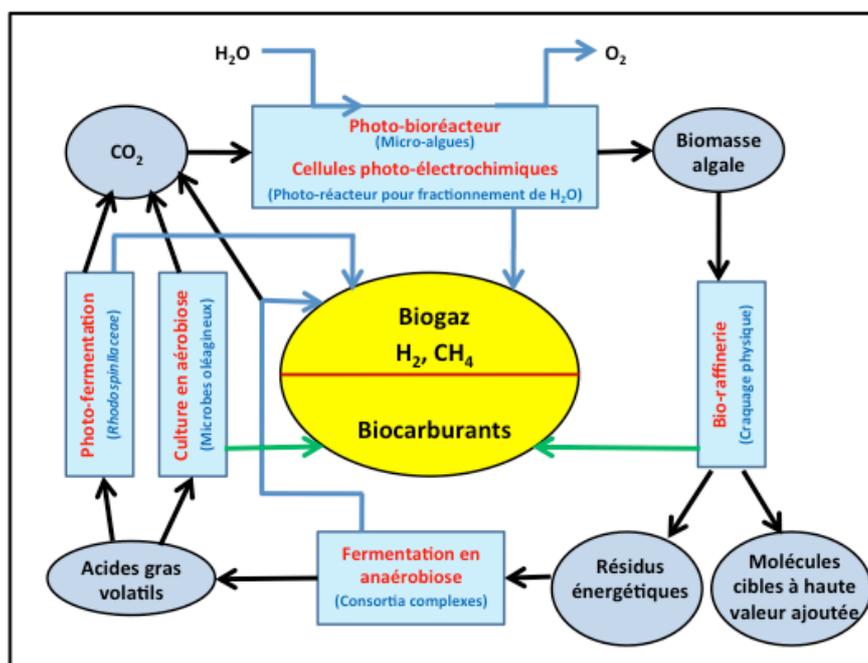
Le travail théorique sur la photosynthèse artificielle, a consisté à étendre à des photo-procédés la chaîne méthodologique validée sur les photo-bioréacteurs. Les applications concernent la production solaire et renouvelable d'hydrogène, soit sur des systèmes modèles, soit en utilisant (en collaboration avec des collègues chimistes dans le cadre d'un projet ANR) des catalyseurs bio-inspirés. Les études ont porté aussi bien sur des photo-réacteurs que sur des cellules photo-électrochimiques. Les premiers résultats obtenus au cours de la période précédente sont prometteurs : ils montrent que l'approche novatrice initiée depuis une vingtaine d'années est pertinente pour les procédés physicochimiques pour lesquels les avancées théoriques et expérimentales font progresser la compréhension et l'optimisation future de la mise en œuvre industrielle de la photosynthèse naturelle et artificielle. Ces travaux bénéficient largement du programme transversal mené dans l'Institut Pascal, chaque fois que l'approche électromagnétique s'impose dans le processus de modélisation du procédé.

Sur le second volet, en génie des bioréacteurs...

L'ensemble des activités sur l'ensemble de l'action 1 peut être présenté en prenant un positionnement applicatif et en se plaçant sous l'angle de la production de bioénergies associée à un cycle de la matière (aspects écologiques et environnementaux). On y retrouve bien sûr les aspects qui concernent les photo-bioréacteurs, évoqués ci-dessus, mais également tous les aspects qui concernent le génie des bioréacteurs. Durant le contrat quinquennal en cours, les aspects « bioénergies » ont eu un effet fortement structurant sur les travaux en génie des bioréacteurs de l'Axe GePEB, avec des implications dans plusieurs programmes ANR et des partenariats avec des grands groupes industriels (TOTAL, Airbus) et plusieurs laboratoires et centres de recherche Français.

Le démarrage du LabEx IMobS3 a produit un effet levier important sur tous ces sujets en centrant la plupart des activités de cette action vers la production de vecteurs énergétiques. Nous avons proposé (au niveau national) une vision non seulement en termes de cycle de carbone mais en prenant en considération les autres cycles (azote, phosphore, soufre, etc.). La cascade de procédés est décrite suivant un cycle global, utilisant le CO₂ et l'énergie lumineuse et conduisant à la production d'hydrogène, de méthane et de biocarburants. Elle intègre également la valorisation de co-produits des industries agricoles et alimentaires. C'est cette présentation (dont le principe est hérité des travaux de l'Axe GePEB sur le système MELISSA – action 4) qui a été établie en 2012 pour défendre le thème « Bioenergy Production Processes for Mobility » au sein du LabEx IMobS3 ; ceci constitue l'essentiel de la structure du Défi 3 du LabEx qui est coordonné par l'Axe GePEB.

Le schéma suivant traduit cette approche générale et prend en compte la plupart des travaux qui ont été développés sur ce thème.



La branche "fermentation en anaérobiose" correspond à la filière anaérobiose non photosynthétique de production de biocarburants (hydrogène, méthane). Les travaux sont développés en mettant en œuvre des consortiums microbiens dont les caractéristiques sont suivies en cours de procédé. Les substrats utilisés sont des coproduits des industries alimentaires, notamment céréalières au regard du contexte régional (pôle de compétitivité Céréales Vallée, cluster E2IA). L'utilisation de bioréacteurs à membranes immergées dans le cas de milieux hétérogènes et colmatant a été testée dans le cadre d'un programme FUI (programme BAM). Ce montage original a démontré sa robustesse de fonctionnement lors d'une conduite du procédé impliquant des mises en œuvre séquentielles du module membranaire. Les acides gras volatils, qui sont des coproduits de l'hydrogène produit par fermentation, peuvent être transformés par voie microbienne (culture de levures oléagineuses telles que *Yarrowia lipolytica* ou *Cryptococcus curvatus*) en lipides utilisables pour des applications de biocarburants (biodiesel). Ce travail en cours (juin 2015), indique d'excellentes potentialités. De même, des méthodes de mesure fines et de modélisation de l'hétérogénéité des milieux appliquées aux fermenteurs en anaérobiose ont été mises en œuvre (financement LabEx IMobS3). De façon générale, l'ensemble des procédés analysés est conçu avec une optimisation de la valorisation des substrats suivant le concept de Bio-raffinerie qui est développé dans l'action 2.

La branche « photo-fermentation » concerne la production d'hydrogène par voie photosynthétique à partir de substrats organiques (en particulier des acides gras volatils). A partir notamment des résultats obtenus dans le cadre du développement d'écosystèmes clos artificiels, les travaux consistent à mettre en place une filière de valorisation de composés carbonés pour la production d'hydrogène.

La branche « photosynthèse » concerne en particulier la mise en place d'une voie de photo-production d'hydrogène et d'oxygène à partir de CO₂ par des cultures de micro-algues. Le modèle d'étude est celui de *Chlamydomonas reinhardtii* en partenariat avec GEPEA à Nantes (ANR AlgoH2) qui inclut une analyse des mécanismes métaboliques qui conduisent à la production d'hydrogène. Ces travaux utilisent aussi les compétences acquises dans le cadre MELISSA (action 4) pour la production d'oxygène et de biomasse par *Arthrospira platensis*. Ces travaux comprennent également la production d'hydrogène par voie photocatalytique bio-inspirée (cf. ci-dessus).

Ces trois volets, qui intègrent une vision « cycle du carbone », concernent donc des procédés biologiques visant la production de bioénergies et la valorisation de déchets agricoles et domestiques.

Projets collaboratifs académiques concernant l'action 1

L'ensemble de ces travaux a bénéficié de partenariats forts et largement diversifiés. Parmi ceux-ci, il faut citer :

- L'ensemble des laboratoires du GdR « Ingénierie des biosystèmes : de la cellule au procédé » (GEPEA UMR CNRS 6144, LISBP UMR 5504, LGC UMR CNRS 5502, LRGP UMR CNRS 7274), notamment pour ce qui concerne les réflexions et les modèles d'analyse du fonctionnement métabolique.
- Les Laboratoires LAPLACE (UMR CNRS 5213), RAPSODEE (UMR CNRS - 5302), PROMES (UPR CNRS 8521), sur les aspects solaires et transfert de rayonnement.
- Les laboratoires CEMCA (UMR 6521), ICMMO (UMR 8182) et LPB (CEA Saclay) pour les aspects catalyse bio-inspirée de la photosynthèse artificielle.
- L'Institut Fresnel (UMR 7249) pour les aspects électromagnétiques, notamment l'obtention de propriétés radiatives par analogie micro-onde.
- Les laboratoires du GdR Bio-H2, en particulier l'UMR CNRS-CEA 6191 et l'UMR CNRS 8182.
- Les Sociétés TOTAL et Airbus.
- Le CSIR-National Institute for Interdisciplinary Science and Technology (NIIST), Trivandrum (Inde).
- Le Laboratoire de Biotechnologie Industrielle, Université Fédérale du Parana, Curitiba (Brésil).
- Le Laboratoire de Génie des Procédés de l'Environnement (LIPE) de l'École Supérieure de Technologie de Casablanca et (Maroc) et Laboratoire de Génie de l'Environnement (LGE) de l'université de Bejaïa (Algérie) sur le couplage entre les bioréacteurs et les procédés électrochimiques pour la dépollution et/ou la récupération de molécules d'intérêt (acides gras volatils).
- L'Université Libanaise (Liban) sur le bioéthanol.
- L'ETSEQ (Tarragone, Espagne) sur la modélisation par mécanique des fluides numérique (CFD).

Ces collaborations se sont traduites par l'obtention des financements suivants :

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR	Algo H2	P	2011 - 2014	Optimisations génétiques, métaboliques et procédé de la photo-bioproduction d'hydrogène par la micro-algue verte <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> . 134,9 k€ dont ½ thèse et post doc (12m)
	ANR	Biosolis	P	2008 - 2011	Développement de photo-bioréacteurs solaires intensifiés en vue de la production à grande échelle de bioénergies par micro-organismes photosynthétiques. 233,1 k€ dont 52,1 k€ d'ingénieur (12 m)
	ANR	Tech'Biophyp	C	2010 - 2015	Vers des cellules bio-inspirées efficaces et bon marché pour la production photo-électrochimique d'hydrogène. 202,8 k€ dont 99 k€ de thèse (36 m)
	ANR	PRIAM	P	2013 - 2015	Développement d'un photo-bioréacteur à éclairage volumique interne. 20,8 k€
	PIE CNRS	PHOTORAD	P	2010 - 2011	Problèmes de rayonnement en diffusion multiple pour l'optimisation d'un photo-bioréacteur solaire. 2 k€
	PEPS CNRS		C	2012 - 2013	Intensification des transferts radiatifs pour le développement de photo-bioréacteurs à haute productivité volumique. 2 k€
	PE CNRS	AZIN	C	2013 - 2014	Caractérisation des propriétés photo-électrochimiques et modélisation prédictive du fonctionnement d'une photo-anode IrO ₂ /Fe ₂ O ₃ pour l'oxydation de l'eau. 5 k€
	PEPS CNRS	ScaleH ₂	C	2014	Mesure locale et modélisation d'un fermenteur anaérobie. 10 k€
	PEPS CNRS	AVG2LIP	C	2015	Séparation et purification partielle par électrocoagulation d'AGV pour leur réutilisation comme substrat en production de biolipides. 12 k€
	PICS CNRS	ECOSEAD	C	2014-2016	Application de l'électrocoagulation à la récupération des matériaux biologiques de l'eau de mer. 16 k€
	IMobS3	μ-APHIPE	C	2012-	Culture de micro-algues en photo-bioréacteurs intensifiés à éclairage interne pour la production de bio-énergies. 105 k€ (thèse 36m)
	IMobS3	Pro ₂ H ₂	C	2012-	Production propre d'hydrogène par photo-catalyse bio-inspirée. 105 k€ (thèse 36m)
		IMobS3	AGVFuels	C	2012
	IMobS3	Phot_Actif	C	2012-	Modélisation du transfert de rayonnement électromagnétique au sein de particules ou couches nano-structurées à activité photo-catalytique (en collaboration avec Axe PHOTON. 105 k€ (thèse 36 m)

Production scientifique concernant l'action 1

La production scientifique relative à cette action figure dans le bilan général de l'Axe GePEB. Elle est conforme à la participation aux programmes de recherche ci-dessus et aux différentes collaborations et partenariats établis. Seuls les points très spécifiques sont reportés dans cette partie.

Logiciels, ressources et bases de données concernant l'action 1

- Simulation des propriétés radiatives de « soft » particules de forme quelconque diffusant et absorbant la lumière (projet ALGUE).
- Implication dans l'environnement de développement EDStar (au sein du groupe StarWest) pour la simulation des phénomènes de transport par la méthode de Monte Carlo : géométries complexes, base de données "propriétés radiatives", etc.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques concernant l'action 1

✓ Invitations et attractivité internationales

Ashok PANDEY est directeur adjoint du NIIST (« National Institute for Interdisciplinary Science and Technology »), un laboratoire du CSIR (« Center for Scientific and Industrial Research ») situé à Trivandrum, capitale du Kerala (Inde). Il occupe également les fonctions de directeur de la division « Biotechnology » et du « Centre for Biofuels » de ce même laboratoire indien. Ses travaux de recherche portent sur le développement de la bio-économie avec un intérêt particulier sur la production de composés chimiques et de biocarburants. Il est coauteur de plus de 1000 documents dont 400 articles de revues internationales et 14 brevets. Il est par ailleurs docteur Honoris Causa de l'Université Blaise Pascal depuis 2008 et éditeur en chef de la revue « Bioresource Technology ». Il fait un séjour de deux mois à Clermont-Ferrand tous les ans depuis 2003. Cette collaboration de longue date s'est concrétisée, pour la période 2010 - 2015, par l'accueil en France de 2 doctorants et de 3 post-doctorants. Les travaux de recherche menés en commun ont conduit à la parution de 14 articles dans des revues à comité de lecture (7 depuis 2010), à la co-édition de 22 ouvrages et numéros spéciaux de revues (12 depuis 2010). Il convient aussi de noter la co-organisation de 8 congrès internationaux depuis 2010.

Carlos SOCCOL est directeur du « laboratoire de Biotechnologie Industrielle », Université Fédérale du Parana au Brésil. Ses travaux concernent les bioprocédés au sens large avec un très fort intérêt pour les biocarburants de deuxième génération dont il est un acteur reconnu pour leur développement au Brésil. Il est également docteur Honoris Causa de l'Université Blaise Pascal (2010), membre titulaire de l'Académie Brésilienne des Sciences depuis 2014 et éditeur en chef de la revue « Brazilian Archives of Biology and Technology ». Il est co-auteur de plus de 1000 documents dont 300 articles dans des revues à comité de lecture et 37 brevets. La collaboration avec le Brésil s'est traduite par une thèse en co-tutelle (Eduardo SYDNEY, soutenance 2013) ainsi que l'accueil d'un doctorant pendant 7 mois en 2011-2012. Cette collaboration a conduit à la parution de 5 articles dans des revues à comités de lecture (4 depuis 2010) et à la co-édition de 12 ouvrages (6 depuis 2010).

Des séjours plus ponctuels d'invités de nationalité étrangère sont aussi à noter. On peut relever Sunil KHARE, professeur de biochimie à l'IIT Delhi et dont les intérêts en recherche portent surtout sur l'utilisation d'enzymes extrémophiles pour le prétraitement de la biomasse. Également, on citera les séjours de Bouchaib GOURICH, chef du département de « Génie des Procédés de l'Ecole Supérieure de Technologie de Casablanca » (Maroc), qui s'inscrivent maintenant dans le cadre d'un PICS CNRS et avec lequel les collaborations portent à la fois sur le couplage entre procédé d'électrocoagulation et bioréacteurs avec trois applications possibles : le traitement des eaux, la purification de milieux biologiques (en particulier ceux contenant des AGV) et la récupération de matériaux biologiques d'intérêt (récolte des micro-algues).

Il faut aussi mentionner, outre les travaux encadrés cités plus haut, un co-encadrement d'une thèse réalisée par Kostas SYGGIRIDIS à l'Université de Patras (Grèce) et qui a été soutenue le 27 juin 2014 et une thèse en cotutelle avec l'Université Libanaise sur la production de bioéthanol à partir de déchets de caroube.

✓ Prix et Distinctions

- Prix scientifique DERBI/JNES 2014 (prix national récompensant une contribution remarquable dans le domaine de l'énergie solaire).
- 2ème prix jeune chercheur de la ville de Clermont-Ferrand 2014.

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation

Un membre de l'Axe GePEB (C. LARROCHE) est l'un des trois éditeurs de la revue « Bioresource Technology ». Ce journal, qui publie des articles dans le domaine de la valorisation de la biomasse, est une des revues phare du secteur « Énergie » du groupe Elsevier. Il reçoit plus de 7000 manuscrits par an et a un facteur d'impact de plus de 5.0 en 2013.

L'Axe GePEB est également porteur, avec le NIIST déjà évoqué, de la plateforme IFIBIOP (« International Forum on Industrial Bioprocesses », <http://www.ifibiop.org>). Il est ainsi co-organisateur des congrès de cette structure qui ont lieu tous les deux ans dans un lieu différent. Les dernières éditions ont eu lieu à Curitiba (Brésil, 2010) Taipei (Taiwan, 2012) et Lille en partenariat avec le congrès ESBES 10, 2014). Toutes ces éditions ont comporté plusieurs sessions sur les bioénergies et la valorisation de la biomasse et des déchets par voie biologique. Des membres du laboratoire ont également été membres des comités scientifiques des congrès NHBT (« New Horizons in Biotechnology ») 2011, 2013, 2015, ainsi que BEST (« International Conference on Biotechnology, Environment and Sustainable Technologies ») 2013 et 2015.

- ✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*
 - Coordination de l'Axe « Photo-procédés » de la « Fédération CNRS de l'énergie solaire » (FédESol) impliquant les laboratoires Rapsodee, PROMES, CETHIL, Institut Fresnel, GEPEA, Laplace, etc.
- ✓ *Expertises*
 - Collaboration avec l'Idex de Toulouse (projet ALGUE) sur la modélisation des propriétés radiatives de microalgues de géométries complexes.
 - Participation au groupe StarWest (laboratoires Laplace, Rapsodee, PROMES, CRCA, LMD, etc.) sur la physique du transport : méthodes de Monte Carlo pour des systèmes complexes non linéaires.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique pour l'action 1

- ✓ *Production*
3 brevets
 - International patent : (DiCoFluV). WO/2012/069622.
 - Brevet brésilien : C.R. Soccol, C. Larroche, E.B. Sydney (2013). Processo para produção de hidrogênio e ácidos graxos voláteis. PI 1005215-1 A8.
 - Enveloppe Soleau (n° : 5011 79 du 20/02/2014) Photo-procédés solaires hybrides – Systèmes de séparation spectrale sous concentration.
- ✓ *Liste des contrats*

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	FUI	BAMI	P	2010 - 2014	Développement d'un bioréacteur à membrane immergée. 205,5 k€ dont 2 post doc (12 mois)	Biobasic Environnement
	BIR		P	2013	Modélisation par CFD d'un hydrocyclone 16 k€ (1 ingénieur sur 6 mois)	MS SA
	BIR		P	2014	Modélisation par CFD d'un hydrocyclone 31 k€ (1 ingénieur sur 12 mois)	MS SA

Action 2 : Procédés d'obtention de biomolécules

Cette action comporte deux volets principaux : *i-*) fermentations en milieu solide ; *ii-*) procédés d'obtention de polysaccharides et procédés de fractionnement de biomolécules ou bio-raffinerie.

Premier volet : Fermentations en milieu solide

Ce premier volet reste un thème évoqué de façon récurrente dans le cadre de partenariats internationaux forts (Inde et Brésil notamment) en développant la thématique de l'utilisation des spores fongiques comme biocatalyseur. Le volet expérimental prévu durant la période d'évaluation concernait une activité qui devait être conduite dans le cadre d'un partenariat impliquant la société Roquette Frères qui n'a finalement pas abouti. Ce secteur est ainsi resté en sommeil et la priorité a été donnée aux autres actions (bioénergies, systèmes membranaires).

Les études concernant les bioconversions ont été conduites en se focalisant sur la production d'isonovalal à partir d'alpha-pinène oxyde. Ce système est un modèle très intéressant car il exige l'utilisation de milieux biphasiques liquide-liquide en raison de la très faible solubilité dans l'eau des composés impliqués, alors que le système enzymatique utilisé est inactivé au contact de l'interface. Cette configuration a conduit à tester l'opportunité de l'utilisation d'un contacteur membranaire dans le cadre d'une thèse CIFRE réalisée en partenariat avec la société NeoBioSys. Les résultats obtenus montrent clairement la capacité de ce système à prolonger la durée de vie du biocatalyseur. Il a également été possible de mettre en place des conditions de fonctionnement permettant de limiter le temps de séjour du précurseur dans la phase aqueuse de manière à limiter les phénomènes d'auto-oxydation observés dans ce milieu. Ce travail a donné lieu à deux communications dans des congrès avec actes (Récents Progrès en Génie des Procédés 2013 et Mempro 2014).

Deuxième volet : Procédés d'obtention de poly- et d'oligosaccharides et bio-raffinage

Ce deuxième volet a été largement développé au cours des cinq dernières années, en particulier sur l'extraction et la purification. Le laboratoire s'est également attaché à la caractérisation de poly- et oligosaccharides et à leur mise en œuvre comme actifs biologiques ou macromolécules techno-fonctionnelles dans une optique de couplage structure-fonction. Cette activité vise à utiliser des plantes terrestres et/ou des sous produits agronomiques comme sources de polysaccharides dans un contexte de bio-raffinage de biomasses végétales et microbiennes. Le développement de procédés physiques, chimiques et enzymatiques de modification de polysaccharides a également été abordé quand les macromolécules natives ne présentaient pas les fonctionnalités recherchées. Ces activités se sont traduites par la caractérisation structurale de polysaccharides hydrosolubles issus de plantes terrestres et de macro-algues malgaches et algériennes, principalement au travers d'accords bilatéraux et de coordinations de programmes internationaux. Le développement de réacteurs enzymatiques à enzymes immobilisées pour l'obtention d'oligosaccharides a également été abordé.

L'intégration du LGCB au sein de l'Institut Pascal en tant qu'Axe GePEB ainsi que les recommandations de l'AERES lors de la précédente évaluation ont par ailleurs conduit à recentrer les activités sur des objets d'étude mieux représentés au sein des autres activités de l'Axe. Dans ce contexte, il est apparu opportun de monter en puissance sur l'exploitation de biomasses microbiennes photosynthétiques comme sources de polysaccharides originaux et d'envisager le développement de nouveaux matériaux à base de biopolymères en lien avec l'Axe MMS. Ces choix stratégiques ont conduit à participer à trois projets ANR. Le premier de ces projets (ANR Blanc Algoraffinerie (2010 - 2013) visait à développer des procédés de bio-raffinage de micro-algues. L'Axe GePEB a assuré le traitement et la caractérisation des fractions hydrosolubles (exopolysaccharides et protéines) issues de deux micro-algues modèles. Ce projet a permis de mettre en place une approche intégrée de procédés visant à traiter non plus uniquement la fraction biocarburant mais également les autres familles moléculaires. Dans ce contexte, des procédés d'extraction de polysaccharides, de protéines et de pigments ont pu être mis en œuvre par des techniques de filtration tangentielle et ont conduit à l'identification de fractions présentant des propriétés biologiques et rhéologiques valorisables. L'objectif était de choisir les opérations unitaires de façon à pouvoir les appliquer à un grand nombre de cas et augmenter les rendements d'extraction tout en tenant compte du changement d'échelle. Ainsi des opérations du type ultrafiltration, séchage par atomisation et traitements acide/base ont été appliquées avec succès pour fractionner différents types de macromolécules biologiques.

Fort de cette expérience sur les procédés d'extraction de polysaccharides micro-algaux, leur potentiel d'actif biologique comme mimétiques de glycosaminoglycane a pu être exploité au travers d'un second projet ANR (Supobee - ANR Emergence Bio 2012 - 2015). Ce programme a permis d'établir la preuve de concept de l'utilisation de certains polysaccharides sulfatés issus de micro- et macro-algues comme antiparasitaires sur un modèle nosémose de l'abeille en collaboration avec des microbiologistes Clermontois. Enfin, le projet ANR Demether – programme EcoTech – (2010 - 2014) a conduit à la conception et à la validation pour leurs propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques de panneaux à base de sous-produits végétaux (broyats de tiges de tournesol) agglomérés à partir de liants polysaccharidiques formulés par voie chimique et/ou biologique. Ce travail a été l'occasion de poursuivre des activités sur la recherche de relations structures - propriétés techno-fonctionnelles et également d'ancrer les activités de l'Axe GePEB dans le domaine des matériaux biosourcés à base de polysaccharides. Cette évolution était par ailleurs souhaitée par des partenaires locaux, comme le groupe LIMAGRAIN.

En termes de production scientifique, le volet « procédés d'obtention de poly- et d'oligosaccharides à activités biologiques et propriétés techno-fonctionnelles » a conduit depuis 2010 à une production scientifique classique (ACL, ACTN et ACTI incluant notamment 42 ACL) et également à 4 brevets (2 sur le développement d'adhésifs à base de polysaccharide, un sur la détection d'enzymes de clivage de polysaccharides et un sur l'utilisation de polysaccharides micro-algaux comme antiparasitaires). L'utilisation

de biomasse micro-algale comme source de nouvelles structures polysaccharidiques et le positionnement récent sur un thème matériaux biosourcés ont par ailleurs été l'occasion de créer et de renforcer des liens forts avec d'autres axes de l'IP (MMS notamment), avec des groupes du site Clermontois (Laboratoire Microorganismes : Génome et Environnement), avec d'autres équipes nationales (Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle et Laboratoire de Génie des Procédés – Environnement – Agroalimentaire – GEPEA) et internationales (Laboratory Aquatic Biology - K.U. Leuven).

Projets collaboratifs académiques concernant l'action 2

L'ensemble de ces travaux a bénéficié de partenariats forts et largement diversifiés. Parmi ceux-ci, il faut citer les collaborations suivantes :

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR	Algoraffinerie	P	2010-2013	Système intégré de raffinerie de microalgues 182,2 k€ dont 24 mois de post doc
	ANR	Demether	P	2010-2014	DEveloppement de MatEriaux biosourcés pour l'isolation THERmique des bâtiments dont 36 mois de thèse
	ANR	Supobee	P	2012-2015	Utilisation de polysaccharides sulfatés pour le traitement de la nosémose des abeilles : 96,7 k€
	BI Région Auvergne	Biofilm Control	C	2012	Développement d'un outil de détection d'enzymes de clivage de polysaccharides 46 k€ dont 12 mois d'Ingénieur d'Etudes
Internationaux	PHC	Tassili	C	2010-2014	Valorisation des sous-produits oléicoles 45 k€
	PHC	Tassili	C	2015-2018	Etude physico-chimique et biochimique des polysaccharides extraits d'une sélection de plantes spontanées à caractère médicinal récoltées dans le Sahara septentrional Est Algérien. 30 k€

Production scientifique concernant l'action 2

La production scientifique relative à cette action figure dans le bilan général de l'axe GePEB. Elle est conforme à la participation aux programmes de recherche ci-dessus. Seuls les points très spécifiques sont reportés dans cette partie.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques pour l'action 2

✓ Invitations et attractivité internationales

- 2010–14 : Programme Hubert Curien Tassili (Campus France) d'échanges bilatéraux (UBP – Université Mouloud Mammeri) d'étudiants chercheurs (Master 2 et thèses) et d'enseignants chercheurs. Le thème de recherche soutenu par ce projet (fonctionnement) est la valorisation des grignons et des margines d'olives.
- 2013 : Mission AUF Océan indien de coopération scientifique en Biotechnologie à l'Université d'Antsiranana (Madagascar). A l'issue de cette mission une cotutelle de thèse a été signée entre les deux établissements.
- 2015–18 : Programme Hubert Curien Tassili (Campus France) d'échanges bilatéraux (UBP – Université Kasdi Merbah) d'étudiants chercheurs (2 thèses en cotutelle) et d'enseignants chercheurs. Le thème de recherche soutenu par ce projet (fonctionnement) est l'étude physicochimique et biochimique des polysaccharides extraits d'une sélection de plantes spontanées à caractère médicinal récoltées dans le Sahara Est algérien.
- 2013 : Séjour de deux mois au sein de l'Axe GePEB de Mme Orily Depraetere doctorante au « Laboratory Aquatic Biology - K.U. Leuven.

✓ Conventions bilatérales

Ces programmes de recherche sont conduits en collaboration avec d'autres partenaires tels que :

- Laboratoire des Glucides UMR CNRS 6219.
- Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA).
- Laboratoire Microorganismes, Génome et Environnement (UBP).
- Laboratory Aquatic Biology - K.U. Leuven (Belgique).
- Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi arides (Ouargla, Algérie).
- Laboratoire de Biochimie Analytique et Biotechnologies (Tizi-Ouzou, Algérie).
- Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés (LISBP) UMR INSA 5504 CNRS 792 INRA.
- Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes (Université de Limoges).
- Laboratoire de Génie des Procédés en Environnement et Agroalimentaire UMR CNRS 6144.
- Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle UMR INRA 1010.
- Société AlgoSource Technologies.
- Société Biofilm Control.
- Groupe Limagrain et pôle de compétitivité Céréales Vallée.
- Entreprise Avuteq.
- Entreprise Roquette Frères.
- Institut Européen des Membranes UMR5635 (CNRS-ENSCM-UM2), Montpellier.
- NIIST, Trivandrum (Inde), équipe Biotechnologie.
- Université Fédérale du Parana - Curitiba (Brésil), Laboratoire de Biotechnologie Industrielle.
- Université d'Etat de Campinas (Brésil), Laboratoire des bioarômes.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique pour l'action 2

✓ Production

4 brevets

- International patent : Adhesive composition including deacetylated chitosan. WO/2012/007697.
- International patent : Sulphated polysaccharide composition. WO/2014/076261.
- Brevet Français : Procédé de détermination de l'activité enzymatique d'une enzyme et dispositif pour sa mise en œuvre. FR1454163.

Action 3 : Génie des procédés alimentaires

Cette action comporte deux volets : l'étude des procédés de foisonnement et des matériaux foisonnés ; les propriétés d'équilibre dans les solutions biologiques et alimentaires et thermodynamique appliquée.

Pour le premier volet, l'Axe GePEB dispose d'un savoir-faire sur l'incorporation de gaz en continu dans les milieux complexes. Il s'agit de foisonnement dans le cas des applications alimentaires. Durant la période écoulée, le bilan des activités témoigne d'importants travaux quantitatifs (taille et distribution de taille de bulles, densité du milieu, contrainte de cisaillement) et qualitatifs (analyse d'image sur la rupture de bulles sous contrainte de cisaillement). Ces travaux ont été réalisés d'une part sur les formulations modèles et d'autre part sur les recettes industrielles. Ils ont permis de maîtriser les aspects dispersif et distributif de l'incorporation du gaz dans les milieux de rhéologie complexe et de montrer que la conduite de l'opération de foisonnement en continu résulte des effets combinés des paramètres rhéologiques et interfaciaux de la formulation liquide et de ceux du procédé. Le rôle du tensioactif sur le mécanisme de la rupture d'une bulle (dispersion du gaz) et la configuration des agitateurs sur la distribution du gaz au sein du milieu liquide ont été mis évidence par des approches expérimentales et par la simulation CFD. Ces travaux ont fait l'objet de deux publications récentes dans Chem. Eng. Sci. et de plusieurs communications orales dans des congrès internationaux et des conférences sur invitation (ECCE 2013, Polytechnique de Bucarest, Sté Mars). Ils ont surtout permis à l'Axe GePEB de se positionner sur d'autres applications, notamment sur les matériaux expansés biocompatibles par des procédés sol/gel en collaboration avec l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand. Une autre application plus récente concerne la valorisation des protéines présentes dans le jus après la cuisson du jambon, longtemps considéré comme un sous produit peu valorisable. Il a été montré comment les protéines contenues dans ces jus peuvent être valorisées dans des formulations foisonnées. Ces travaux ont été menés dans le cadre d'un financement FUI (projet Valeco2) en collaboration avec des partenaires industriels (Fleury Michon et Salaison Sabatier, ADIV) et académique (AgroParisTech). Une unité industrielle est en cours de conception par l'entreprise Salaison Sabatier sur la base des résultats obtenus par le laboratoire.

Le deuxième volet s'inscrit dans le champ plus large de la thermodynamique appliquée aux solutions biologiques et alimentaires. Les travaux sur la modélisation des propriétés d'équilibre dans les solutions biologiques et alimentaires ont été développés, à la faveur de l'obtention d'un programme ANR (Programme Na). Il s'agit là d'un point clé pour la modélisation des bioprocédés et d'un sujet peu développé en France qui se situe à l'interface de plusieurs champs disciplinaires. Plusieurs points ont été développés de façon parallèle en utilisant différentes formes de modèles de contribution de groupements chimiques et d'hydratation, soit constante soit variable. D'abord, les travaux ont porté, d'une part sur la modélisation prédictive des constantes d'équilibre à partir de modélisation moléculaire et du modèle COSMO-RS (**CO**nductor like **S**creening **MO**del for **R**eal **S**olvents) et des propriétés de formation en solution aqueuse et, d'autre part, sur la prédiction du potentiel redox en solution. Le partenariat avec la société PROSIM SA a été renforcé, de façon à ce que les modèles et les logiciels développés soient accessibles sur la base de données SIMULIS Thermodynamics. Ensuite, des études ont permis d'étendre le domaine d'application du modèle à des produits à base de gélatine puis à de la viande de porc. Pour ce faire, un concept de molécule équivalente a été validé permettant de prédire le pH et l' a_w de viande de porc en présence ou non d'ingrédients/additifs utilisés pour le salage/saumurage ou le marinage. Dans le cadre de la thèse de Aïchatou MUSAVU, des extensions à d'autres produits carnés (bœuf, poulet, saumon, morue) ou laitiers (fromage frais, comté, edam, emmental) ont été menées à bien. Pour associer cette étude à des logiciels de simulation de procédés alimentaires (comme celui développé par P.S. MIRADE – INRA QuaPA – pour le jambon sec dans le cadre de Na), des réseaux de neurones sont en cours d'optimisation afin de pouvoir être intégrés sous forme de fonctions ou de macros Excel.

Dans le prolongement de ce deuxième volet, l'approche par modèles thermodynamiques est aussi utilisée pour la compréhension des transitions de phases associées à l'étude de la structure et de la dynamique de fluides confinés à l'échelle du nanomètre dans des matériaux modèles, dont les tailles de pores et la nature des interactions de surface sont maîtrisées. Ces études doivent à terme permettre de mieux appréhender la problématique des propriétés de l'eau dans l'espace cytosolique d'une cellule et de développer des modèles locaux de l'énergétique cellulaire. Pour compléter la compréhension des phénomènes à l'échelle du nanomètre, d'autres études sur des nanoparticules à base de platine et de palladium portent sur : *i*) des problématiques liées à l'hydrogène (production ou stockage ; *ii*) la compréhension de l'activité catalytique de ces nanoparticules. Le premier sujet (confinement) est étudié en partenariat avec le Laboratoire Léon Brillouin (Saclay) et l'ENSTA (Palaiseau) ; le deuxième (nanoparticules) est développé avec le laboratoire de Chimie Physique (Orsay).

Projets collaboratifs académiques concernant l'action 3

L'ensemble des travaux sur cette action « génie des procédés alimentaires » bénéficie de partenariats importants au niveau local et au niveau national, notamment dans le cadre du programme ANR Na :

- Unité INRA QuaPA (UR 3790 « Qualité des Produits Animaux »).
- Partenaires de l'UMT 6.02 « Génie Alimentaire et Biochimie appliqué aux Produits Carnés » puis de l'UMT 11-02 APROCEL (Rationalisation et amélioration des procédés de transformation des produits carnés élaborés).
- Association pour le Développement de l'Institut de la Viande (ADIV).
- Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (UMR CNRS 6296).
- Laboratoire de Chimie Physique (Orsay).
- Laboratoire Léon Brillouin (Saclay) ; l'ENSTA (Palaiseau).
- Société PROSIM SA.
- AFSSA - Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments.
- IFIP - Institut Français du Porc.

Ces collaborations se sont traduites par l'obtention des financements suivants :

- ANR Na- (2010 – 2013) : 50 k€ + 1 bourse de thèse (50% ANR – 50% Région Auvergne).
- Financements UMT 6.02 puis 11-02 : 2 Master 2.

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR	Na	C	2011-2014	Limitation des quantités de sels dans les préparations de produits carnés 50 k€ plus ½ thèse
	UMT APROCEL		P	2010-2017	Génie Alimentaire et Biochimie appliqué aux Produits Carnés Développement d'outils théoriques et de méthodes expérimentales

Production scientifique

La production scientifique relative à cette action figure dans le bilan général de l'Axe GePEB. Elle est conforme à la participation aux programmes de recherche ci-dessus et aux multiples collaborations établies. Seuls les points très spécifiques sont reportés dans cette partie.

Logiciels, ressources, bases de données

Dans le cadre de la thèse de Oumar TOURE (projet Na⁺) puis de son post-doc (projet AlgoH2), plusieurs extensions du logiciel COSMO-RS ont été développées, notamment pour les sucres, les polyols et leurs dérivés, à forte concentration et à haute température ainsi que pour les électrolytes en solutions diluées ou concentrées (jusqu'à la saturation).

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Conventions bilatérales

Dans le cadre de l'UMT 6-02 (Génie Alimentaire appliqué aux produits carnés) puis de l'UMT 11-02 APROCEL (Rationalisation et amélioration des procédés de transformation des produits carnés élaborés), une convention tripartite lie les trois partenaires : ADIV, UR QuaPA de l'INRA et IP Axe GePEB sur les problèmes de transformations des produits carnés.

✓ Prix et Distinctions

Prix de la meilleure thèse en génie des procédés du CODEGEPRAA (2015).

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation

Membres du comité scientifique des JSMTV (Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande – 2011 et 2013).

✓ Expertises

- Membre du conseil scientifique de l'ACTIA (Association de Coordination Technique pour l'Industrie Alimentaire).
- Membre de la Commission Scientifique Spécialisée INRA « Sciences et Ingénierie des Aliments, des Matériaux, des Molécules pour la chimie et l'énergie ».

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

✓ Liste des contrats

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	FUI	Valéco 2	P	2010-2014	Valorisation d'effluents liquides de cuisson riches en protéines et en sels	AgroParisTech Salaisons Sabatier et Fleury Michon
		Simulis	C	2010-	Implémentation de modèles de solutions d'électrolytes	PROSIM SA
Internationaux		COSMO-RS-PDHS	C	2011-	Simulation moléculaire et modélisation des solutions électrolytiques	Sté COSMOLOGICS

Le programme Valeco 2 regroupe les partenaires académiques (Institut Pascal, AgroParisTech) et industriels (Salaisons Sabatier et Fleury Michon, Jean Niel). Son objectif est la valorisation des effluents liquides riches en protéines et en sels obtenus lors de la cuisson du jambon. AgroParisTech est impliqué sur la valorisation aromatique et l'Institut Pascal sur la valorisation produit. Partant d'abord par une caractérisation physicochimique, suivie par une étude de fonctionnalité et enfin par la mise en œuvre du procédé, la contribution de l'Axe GePEB a permis de faire passer ces effluents du statut de sous-produits à celui de produits à valeur ajoutée.

Action 4 : Étude des écosystèmes clos artificiels biorégénératifs

Durant la période écoulée, l'Axe GePEB a poursuivi et amplifié ses collaborations avec les partenaires européens signataires du Memorandum Of Understanding « MELiSSA » (Micro-Ecological Life Support System Alternative). Ce MOU a été renouvelé en 2015 pour 5 ans. Il y a au moins trois raisons pour que les chercheurs de GePEB poursuivent dans cette voie :

- Un intérêt scientifique : la nécessité de développer une biotechnologie rationalisée appelle une compréhension fine de tous les processus mis en œuvre, qu'ils soient biologiques, physicochimiques ou qu'il s'agisse de comprendre et de maîtriser un système ou un ensemble complexes de systèmes imbriqués, devant fonctionner dans des conditions strictes de fiabilité et d'autonomie. Cette approche systémique, essentielle pour ce sujet, est aussi au cœur du projet scientifique de l'Axe GePEB.
- Un intérêt technologique fondamental : il y a un véritable défi à relever pour recréer à petite échelle, et sans « tampons matière », un écosystème clos capable de recycler atmosphère, déchets, eau et nourriture pour un équipage isolé ; c'est aussi une problématique qui rejoint directement les grands défis actuels de maintien des équilibres matière et énergie au sein d'un système dynamique fermé. Pour preuve, les travaux actuels de l'Axe GePEB sur les bioénergies (action « Génie des bioréacteurs et des systèmes photo-réactifs ») l'ont été au départ dans le cadre du développement du système MELiSSA.
- Un intérêt d'ouverture : ce thème a une forte visibilité européenne et internationale avec des relations dans la plupart des laboratoires mondiaux (Europe, Russie, Canada, Etats-Unis) travaillant sur le sujet « écosystèmes clos artificiels spatialisables ».

Durant la période écoulée, les activités de l'Axe GePEB sur cette action ont concerné principalement les points suivants :

- Le troisième compartiment de la boucle MELiSSA (compartiment Nitrificateur C-III) a été étudié avec, d'une part, une étude expérimentale de la colonne à lit fixe qui a été assemblée et testée au laboratoire et, d'autre part, la modélisation prédictive de son fonctionnement, en prenant en compte le couplage entre l'hydrodynamique et le mélange et le comportement métabolique des deux souches en co-culture. Cette étude a conduit à la définition des paramètres de dimensionnement et de fonctionnement de la colonne pilote qui a été construite au MELiSSA Pilot Plant (MPP). Une loi de contrôle et de commande prédictive, basée sur le modèle, a été établie. La colonne pilote est en cours de test à Barcelone. Ces activités expérimentales et de modélisation s'inscrivent également dans le droit fil des compétences développées dans l'action « Génie des bioréacteurs et des systèmes photo-réactifs » (action 1).
- Le quatrième compartiment de la boucle MELiSSA (compartiment micro-algues C-IVa) est en cours de re-design, avec l'objectif de mettre en place des photo-bioréacteurs intensifiés, en prenant en compte les derniers développements sur les photo-bioréacteurs à haute productivité volumique (de type Haute Productivité Volumique : HPV) qui ont été inventés au laboratoire (action 1). En effet, il s'agit d'implémenter cette nouvelle génération de photo-bioréacteurs pour les partenaires du groupe MELiSSA, génération qui prendra le relais de l'ancienne technologie à éclairage externe. Ces développements doivent permettre de développer des tests de couplage en microgravité, notamment une expérience BIORAT consistant à opérer un mini-système de recyclage de l'atmosphère couplant un photo-bioréacteur et un compartiment animal. Le compartiment micro-algues est régulé et contrôlé par les modèles de connaissance développés au laboratoire.
- A la demande de l'ESA, le compartiment « plantes supérieures » (compartiment C-IVb) de la boucle MELiSSA a également été le sujet d'études en modélisation (2 thèses soutenues, 1 thèse en cours). Tous les systèmes de support vie comprennent un compartiment plantes. Mais le travail en modélisation est resté peu développé jusqu'à aujourd'hui. À terme il s'agit d'appliquer la même méthodologie que pour les autres compartiments, à savoir l'implémentation des stratégies de contrôle à partir des modèles de connaissance. L'objectif était donc d'appliquer la même méthodologie de « modélisation – contrôle » que pour les compartiments microbiens. Les travaux effectués ont porté sur deux aspects : i) définition d'une « base » de description du métabolisme commune pour caractériser les stœchiométries de croissance d'une plante (en incluant les aspects photosynthèse, respiration racinaire, bilans carbone et oxygène) ; ii) prise en compte des aspects liés à la morphologie de la plante et aux transferts d'eau entre la partie racinaire et la feuille. Le premier aspect se situe en continuité d'autres travaux de représentation des couplages cinétiques et stœchiométriques pour le métabolisme cellulaire (action 1) ; le deuxième aspect introduit des techniques de modélisation nouvelles et constitue un véritable défi scientifique. Le couplage des deux aspects s'effectue suivant une approche « génie des procédés » qui constitue le savoir-faire du laboratoire.
- En partenariat avec le CNES, une installation a été conçue et développée pour l'étude des

mécanismes de condensation pour prendre en compte l'effet d'une gravité non terrestre (voire en microgravité). Ceci a conduit à développer des modèles de condensation de l'air humide applicables pour les systèmes de support vie, en particulier pour la modélisation des phénomènes d'évapotranspiration au niveau de la feuille d'une plante supérieure.

- En partenariat avec l'Université Autonoma de Barcelona et le MELiSSA Pilot Plant (MPP), l'Axe GePEB a passé un contrat pluriannuel pour la conception et la mise en place des différents compartiments de la boucle MELiSSA à une échelle de taille pilote (support vie pour un homme). Le MPP est considéré comme le centre européen d'essais sur les systèmes de support vie biorégénératifs ; il doit permettre la validation des modèles de fonctionnement, ces derniers conduisant aux modèles de contrôle et de commande. Les simulations dynamiques qui sont effectuées dans l'Axe GePEB ont permis d'établir des stratégies de couplage des compartiments entre eux entre les phases liquides, solides et gaz. A l'heure actuelle, différents scénarios sont en cours de tests, associant les compartiments nitrificateur et photo-bioréacteur ainsi que le compartiment consommateur.

Projets collaboratifs académiques concernant l'action 4

L'ensemble de ces travaux bénéficie de partenariats internationaux forts et largement diversifiés. Parmi ceux-ci, il faut citer :

- Agence Spatiale Européenne (ESA).
- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) (France).
- Centre d'Etudes Nucléaires CEN.SCK (Belgique).
- Université Autonome de Barcelone et MELiSSA Pilot Plant (Espagne).
- Université de Ghent ; Université de Mons (Belgique).
- Université Libre de Bruxelles (Belgique).
- Université de Lausanne (Suisse).
- Université de Guelph (Canada).
- Université de Krasnoyarsk ; Institut de Physiologie des Plantes de Moscou (Russie).
- Johnson Space center (NASA) (Etats-Unis).
- Sociétés : Sherpa Engineering ; Vito (Belgique).
- IP Star (Pays-Bas).
- EnginSoft (Italie).

Ces collaborations se sont traduites par l'obtention des financements suivants :

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	CNES		C	2015-2017	Modélisation de la croissance de plantes supérieures en microgravité
Internationaux	MOU ESA	MELiSSA	P	2010-2014 2015-2019	Ecosystèmes clos biorégénératifs
	Univ. Autonoma de Barcelona	MPP	C		Ingénierie du Pilot Plant MELiSSA à Barcelone 46,7 k€
	ESA - AO	NITRI	C	2011-2015	Colonne de nitrification 450 k€
	ESA - AO	PHOTOBIO	C	2014-2016	Photo-bioréacteur de nouvelle génération 300 k€
	Univ. Louvain		P		8,3 k€
	VITO	Bellissima 2	P		21 k€
	Univ. Leuven		P	2013-2014	15 k€
	Univ. Ghent		P	2012	4 k€
	Topical Team		C	2009-2013	20 k€

Production scientifique

La production scientifique relative à cette action figure dans le bilan général de l'Axe GePEB. Elle est conforme à la participation aux programmes de recherche ci-dessus et aux multiples collaborations établies. Seuls les points très spécifiques sont reportés dans cette partie.

✓ *Rapports scientifiques*

Plus de 80 rapports d'étude intermédiaires et de rapports finaux (Technical notes) produits pour les différents contrats.

✓ *Logiciels, ressources, bases de données.*

- Participation à la conception et à la structuration (avec Sherpa Engineering) du MELiSSA DMS (Data Management System) implémenté dans un environnement SmarTeam (<https://gateway.melissa-dms.eu>)
- Simulation des bilans matière des compartiments de la boucle MELiSSA (NITRISIM, PHOTOSIM, IODE toolbox)

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ *Invitations et attractivité internationales*

- Organisation à Clermont-Ferrand du 7th International Microbial Space Workshop (IMSW), qui a rassemblé plus de 200 participants et où toutes les agences spatiales du Monde étaient représentées (2011)
- Invitation à toutes les sessions de suivi de projet (yearly meetings) pour les personnels permanents de l'Axe GePEB (au moins deux réunions plénières par an)

✓ *Conventions bilatérales et multilatérales*

- Contrat cadre de collaboration (MOU) renouvelé et étendu aux universités de Lausanne, de Naples Federico II, etc. en 2015.
- Participation à la MELISSA foundation : <http://www.melissafoundation.org/>

✓ *Comités éditoriaux/Comités scientifiques /Comités d'organisation*

Membre du comité de programme du congrès du Committee on Space Research (COSPAR : Moscou, 2014 ; Istanbul, 2016).

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

Membre du comité de conseil auprès du Directeur Général de l'ESA pour les programmes d'exploration spatiale habités et automatiques (Human Spaceflight and Exploration Science Advisory Committee – HESAC group comprenant 15 membres) depuis 2014.

✓ *Expertises*

- Conseil auprès du groupe d'experts scientifiques européens de l'Agence Spatiale Européenne (European Scientific Experts Group), chargé des questions relatives aux systèmes biorégénératifs artificiels de support de vie (2000 - 2014).
- Membre du Steering Committee de l'European Science Foundation (ESF) pour les questions « Life Support – bioregenerative and physicochemical » (Thesus Consortium: ESA / European programmatic landscape) définissant les futures priorités européennes en matière d'environnement et support vie et de « Life and Physical Sciences in Space » (2007 - 2013).
- Membre du comité de préparation des programmes ELIPS 3 et 4 : (European Programme for Life and Physical Sciences in Space).

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique

- Collaborations suivies avec l'entreprise de valorisation de l'ESA IPStar BV (NL) en charge de la valorisation industrielle des résultats de recherche sur les écosystèmes clos artificiels.
- Collaborations suivies avec l'entreprise SHERPA Engineering (F) pour le développement des stratégies de contrôle à partir des modèles de connaissance développés au laboratoire.
- Collaborations avec Thalès Alenia (I) et Enginsoft (I) (modèles de croissance de plantes supérieures et design des compartiments plantes supérieures).
- Collaboration avec des entreprises du domaine spatial RUAG (CH) et Qinetics (B) pour le développement d'un écosystème consommateur – photo-bioréacteur (système BIORAT) spatialisable

Fiches scientifiques des trois actions :

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques	
#1	High efficiency photobioreactor with solar light-flux dilution
#2	Bioactive polysaccharides from microalgae
#3	Biorefinery of microalgae
#4	Bioenergy from agricultural and food waste
#5	MELISSA: the european bioregenerative life support system project
#6	Process for extraction and characterization of polysaccharides from endemic plants and macroalgae
#7	Interface phenomena and FUI Valeco
#8	Na-Project: how to reduce salt content in dry and cooked hams
#9	Prediction of the equilibrium properties in biomedica with COSMO-RS
#10	Use of the oxidoreduction potential in food and bioreactor processes
#11	Electrocoagulation as a pretreatment for seawater desalination

1.2.2. Axe ISPR

Identité de l'Axe

L'Axe "Image, Systèmes de Perception, Robotique" (ISPR) de l'Institut Pascal est l'héritier direct du Groupe GRAVIR - Groupe Automatique : Vision & Robotique du LASMEA-UMR 6602 CNRS (2010-2011). Il émerge à la section CNU 61 principalement et à la marge à la section 27 et globalement à l'INSIS du CNRS (section 07). Cet axe œuvre dans le domaine de la Perception et de la Vision Artificielle pour la Commande des Systèmes Robotiques. Ses objectifs principaux sont le développement de concepts théoriques, méthodologiques et architecturaux pour la perception et le contrôle des systèmes. Il est structuré en quatre thèmes scientifiques : COMSEE (Computer that See), DREAM (Embedded Architecture and Multi-sensors), MACCS (Modeling, Autonomy and Control in Complex Systems) et PERSYST (Perception Systems) reconnus aux niveaux national et international.

Les travaux de recherches de cet Axe traitent :

- de la vision artificielle pour la reconnaissance des formes, l'interprétation de scènes, la détection et le suivi d'objets en environnements complexes,
- de la reconstruction 3D dense d'environnements complexes par différentes modalités capteur (caméra, lidar, radar),
- de différentes méthodes de localisation 2D/3D et du guidage en mode autonome de robot mobile par approches mono et multi-sensorielle (caméra, lidar, proprioceptifs) en intégrant éventuellement de la cartographie de l'environnement à construire (SLAM) ou des informations de type "systèmes d'informations géo-référencé" (SIG),
- de différentes méthodes de localisation et de contrôle-commande pour la navigation de robots mobiles en formations diverses et en différents types d'environnement,
- de méthodes de fusion d'informations multi-sensorielles dans les domaines précédemment cités,
- de modélisation, d'identification et de commande de différentes familles de robots (manufacturiers, mobiles terrestres ou aériens, humanoïdes, ...) et de machines complexes (usinage à très grande vitesse, machines spéciales, ...),
- de conception de capteurs intelligents et de méthodes de programmation associées
- de conception d'environnements de prototypage rapide pour des architectures parallèles hétérogènes ou homogènes.

Ces différents travaux sont abordés par un ou plusieurs thèmes en partenariat, l'idée maîtresse de cet axe étant de favoriser de manière importante les synergies du savoir-faire et des compétences entre les différents chercheurs et enseignants-chercheurs de l'axe ISPR mais également des autres axes de l'Institut Pascal et des acteurs du site clermontois (IRSTEA-TSCF, CEREMA, LIMOS, LAPSCO). Cette synergie entre les thèmes s'exprime à travers un nombre important de montage et de participation à des projets communs (ANR, FUI, LABEX IMoBS, FUI, EURIPIDES), des thèses inter-thèmes, l'organisation commune de manifestations (démonstrations nationales et internationales sur la mobilité, sur la robotique mobile et manufacturière, en préparation RFIA 2016). A travers l'action **Machines et Robots Intelligents et Innovants** du Programme Transversal de l'Institut Pascal, l'Axe ISPR à intensifier ses relations historiques avec le thème « Mécanismes, Machines et Systèmes Industriels » (MMSI) de l'axe Mécanique, Matériaux et Structures (MMS). Disposant d'une équipe technique de cinq personnes et de plateformes expérimentales performantes, l'axe ISPR - dans le contexte des Sciences Pour l'Ingénieur - a pour ambitions de mener des travaux scientifiques des problématiques théoriques jusqu'à la réalisation de démonstrateurs technologiques réalistes en passant par la création de plusieurs Start-Up locales.

Il faut également indiquer la forte implication de l'axe ISPR sur la structuration du site Clermontois à travers la direction de l'Institut Pascal, la direction du projet Innovapôle du CPER 2010-2014, la direction du Laboratoire d'Excellence IMobS3 « Innovative Mobility: Smart and Sustainable » regroupant sept laboratoires (Institut Pascal, TSCF -IRSTEA, LIMOS-UMR 6158, LAPSCO UMR 6024, Laboratoire de Mathématiques Appliquées, Institut de Chimie, CEREMA) et la codirection de l'un des 3 défis « Véhicules et Machines Intelligents » de ce LABEX ainsi que la direction de l'action Robotique Mobile (RoMob) de l'EQUIPEX ROBOTEX. Une forte implication aux côtés du Pôle de compétitivité VIAMECA permet également l'ouverture vers le monde industriel.

Organisation fonctionnelle

L'Axe est composé des quatre thèmes scientifiques suivants :

Le 1^{er} thème **COMSEE** (Computers that See) mène des actions autour de la problématique générale de la **Vision par Ordinateur**. Ces actions concernent principalement les techniques de **modélisation et d'estimation**. ComSee est constituée de 11 permanents, 2 permanents associés, 14 doctorants et 2 contractuels. 16 thèses ont été soutenues sur la période.

Les travaux réalisés dans le cadre des cinq dernières années visent à atteindre les deux objectifs scientifiques suivants :

- la localisation et la reconstruction 3D temps réel de scènes rigides à partir de systèmes mono et multi-caméras,
- le suivi et la reconnaissance d'objets dans des séquences vidéo.

Pour atteindre ces objectifs, les membres de ComSee développent une expertise originale dans les domaines de la **vision géométrique** et de **l'interprétation de séquences d'images temporelles**.

Le 2^{ème} thème **MACCS** (Modeling, Autonomy and Control in Complex Systems) a pour objectifs, **la maîtrise de la complexité dans les systèmes robotiques, que celle-ci soit introduite par les capteurs utilisés, les spécificités de la structure mécanique du système, les incertitudes liées à l'environnement, ou encore la nature des tâches à effectuer**. Le cœur scientifique de MACCS s'appuie essentiellement sur des activités de modélisation, perception et commande de ces systèmes robotiques complexes afin d'augmenter leur autonomie et leur adaptabilité aux tâches à réaliser en fonction des environnements statiques et/ou dynamiques rencontrés. MACCS est constituée de 6 permanents, 11 doctorants et 6 contractuels. 10 thèses ont été soutenues sur la période.

Le 3^{ème} thème **DREAM** (DREAM is Research on Embedded Architecture and Multi-sensors) traite de la conception et la mise en œuvre d'architectures matérielles et logicielles pour les systèmes de perception embarqués. Un trait marquant de cette activité consiste en l'association étroite d'une thématique centrée sur la conception et l'intégration d'architectures matérielles et d'une thématique logicielle centrée sur la définition et le développement de langages et de méthodologies de programmation permettant d'exploiter ces architectures de la manière la plus transparente et la plus efficace possible. DREAM est constituée de 4 permanents, 4 doctorants et 6 contractuels. 9 thèses ont été soutenues sur la période.

Le 4^{ème} thème **PERSYST** (Systèmes de Perception) couvrent les problématiques de la localisation, de la cartographie et de l'interprétation des scènes pour la robotique mobile essentiellement d'extérieur et ce dans un cadre éventuellement multi-sensoriel. PerSyst a pour ambition de développer des approches novatrices pour chacune de ces problématiques tout en les plaçant dans une perspective commune où interprétation, localisation et cartographie sont étroitement liées. Elles s'inscrivent dans un schéma général au sein duquel la carte de l'environnement (statique et dynamique) est l'élément essentiel. PERSYST est constituée de 5 permanents, 8 doctorants et 8 contractuels. 10 thèses ont été soutenues sur la période.

Chacun des thèmes est animé scientifiquement par un responsable élu. L'axe est animé par un responsable élu qui nomme son responsable adjoint pour la période contractuelle (2012-2016). Le responsable de l'axe, le responsable adjoint, les 4 responsables de thème et un représentant de l'équipe technique constituent le comité d'Axe qui se réunit hebdomadairement pour traiter des affaires courantes et des décisions stratégiques de l'axe. Un comité scientifique regroupant le comité d'axe et un choix de membres d'ISPR en fonction des questions débattues se réunit trimestriellement ou à la demande. Une réunion hebdomadaire intitulé "Remue-méninges" invite tous les membres de l'axe à débattre (permanents et non permanents) d'une question scientifique (analyse d'articles, projets scientifiques en cours de construction, ouverture scientifique stratégiques, ...).

Cartographies récapitulatives

Personnels

- 25 Permanents EC (26 sur la période, départ retraite de 1 PR en fin de période)
- 11 MCF - 4 MCF HDR - 1 CR - 8 PR aujourd'hui (9 PR sur la période) - 1 DR
- 5 IATOS : 1 IR CNRS, 3 IE CNRS, 1 AI UBP affecté au Service Général de l'Axe
- 37 PhD en cours, 45 PhD soutenus sur la période
- 9 post-docs achevés sur la période
- 1 CDD Ingénieur en cours et 8 CDD Ingénieur achevés sur la période

✓ Répartition par établissement

- Enseignants-Chercheurs/Chercheurs : 19 UBP – 1 Uda – 2 CNRS - 3 IFMA
- Equipe Technique : 1 UBP - 4 CNRS

✓ Associés

- 3 MCF
- 1 PR Emérite

Equipements spécifiques / Plateformes

- Plateforme Auvergne pour Véhicules Intelligents (PAVIN) Site expérimental réaliste et sécurisé pour le développement et l'expérimentation de véhicules entièrement automatiques, l'évaluation de méthodes de géo-localisation 3D fine (précision au cm) robuste (fusion GPS, vision, odomètre en environnement urbain. Plateforme nationale CNRS dans le cadre de l'EQUIPEX ROBOTEX RobMob.
- Flotte de 5 véhicules expérimentaux (VipaLAB) instrumentés et communicants pour les activités scientifiques autour de flottes de véhicules intelligents.
- Plateforme robotique manipulatrice constitué de deux bras KUKA LWR 4+, d'une main Sahdow, d'une main Barrett et d'une tête stéréoscopique en collaboration avec l'axe MMS de l'institut Pascal et dans le cadre de l'EQUIPEX ROBOTEX RobProd.
- Environnement de simulation pour la robotique mobile : modèles hyper réaliste d'environnements, modèles physiques de robots, capteurs et actionneurs virtuels en partenariat avec la société 4DVirtualiz.

Projets collaboratifs académiques

La politique de l'Axe ISPR pour les projets collaboratifs académiques consiste à utiliser les synergies et les complémentarités des quatre thèmes pour les appels à projets. Pour la grande majorité des projets ANR, FUI, LABEX et CPER, 2 ou 3 thèmes sont représentés. La coordination locale est assurée par un membre coopté. Quelques projets ne font intervenir qu'une seule thématique. Alors que la participation aux APP ANR pour la période 2010-2102 a été forte avec un taux de réussite supérieur à la moyenne nationale, la labellisation du LABEX IMobS3 a changé la donne avec à la clé un fort financement (coordination scientifique par l'axe ISPR de 5 actions - structurantes au niveau « site clermontois » et au niveau international - d'un budget moyen de 200k€) et participation à 3 actions supplémentaires avec pour conséquence un ralentissement de réponse à AAP ANR pour la période 2012-2014. La situation évolue vers un retour aux AAP ANR (taux de réussite du niveau de la moyenne nationale). Un effort important a été réalisé dans le cadre des AAP H2020 avec 6 projets déposés en tant que partenaires sans succès

	Type	Nombre
Nationaux	ANR	14 + 2 avec Axe MMS
	Actions LabEx IMobS3	8
	Projet Région CPER Innov@Pôle	1/an
	Projet Région Culture Scientifique, Technique et Industrielle	1
Internationaux	EURIPIDES EUREKA	1
	Braain Research Institut (KO)	1
	Chaires d'excellence	1 Région et 1 LabEx IMobS3
	PHC	1
	PEPS	1

Production scientifique

✓ Communications écrites

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
ACL	11	5	10	18	21	15	80
OS	8	2	7	3	3	1	24
ACTI	40	28	69	52	32	8	229
ACTN	19	13	11	10	14	0	67
							391

✓ Communications orales

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
INV	1	0	1	0	1	1	4
COM	2	0	2	2	2	0	8
AFF	0	0	1	0	1	2	4
							16

✓ Logiciels, ressources, bases de données

- CAPH : High level dataflow programming for FPGA - GNU GPL (2009 à aujourd'hui).
- Corpus : Background Models Challenge : à travers un benchmark public, ISPR a proposé un workshop international lié à la conférence ACCV et l'édition d'un numéro spécial de la revue CVIU une comparaison de l'état de l'art des méthodes d'extraction de fond, maintenant référencée dans la documentation de la librairie OpenCV3.0.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

- 11 invitations en conférences internationales.
- Bilan des séjours invités à l'étranger : 2 séjours de 7 jours et 8 séjours d'un mois dans un laboratoire étranger.
- Personnalités scientifiques étrangères : il faut noter une ouverture à l'international en croissance importante depuis 2012 à travers le LabEx IMobS3 qui se traduit par 14 invités étrangers sur des périodes d'un mois.
- Mise en place de deux Chaires d'Excellence (Pr Hartlay et Pr Araujo).
- 8 thèses en co-tutelle.

✓ Conventions bilatérales

- Avenant à la convention bilatérale entre l'Université de Sousse-ENISO (TN) et l'Université Blaise Pascal pour le secteur Sciences Pour l'ingénieur.
- Convention bilatérale entre l'Université de Pise (IT) et l'Université Blaise Pascal.
- Convention bilatérale entre l'Université SungKyunKwan (SKKU), Corée du Sud et l'Université Blaise Pascal.
- Convention bilatérale entre l'Université KUMAMOTO (JP) et l'Université Blaise Pascal.

✓ Prix et Distinctions

- Excellent Paper Award IEEE/ACM ICDCS 2013 C. Bourasset, J.Serot, F. Berry. "FPGA-based Smart Camera Mote for Pervasive Wireless Net-work". PalmSpring, USA.
- Best PhD forum Award IEEE/ACM ICDCS 2011 F. Pellisier, F. Berry. "BiSeeMos : a Fast Embedded Stereo Smart Camera". Gent, Belgium.
- Best Student PaperAward – Third Place - IEEE ITSC 2013 (16th IEEE Inter. Conf. on Intelligent Transportation Systems). Seuls travaux primés dans la catégorie "Sensing, Perception and Vision". [C-ACTI-1]
- Best Poster Award Laser Scanning 2013 (Laser Scanning 2013 ISPRS Workshop). [W-ACTI-1]
- Prix du meilleur article RFIA 2012 (18e congrès sur la Reconnaissance des Formes et l'Intelligence Artificielle). [C-ACTN-1]

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Membres de comités scientifiques :

ECCV2010, 2014 ; CVPR2010, 2011, 2014 ; ICPR 2010, 2014 ; BMVC 2011 ; RFIA 2010, 2012, 2014 ; IEEE PAMI ; IEEE TRO ; IEEE TIP ; CVIU ; JNRR 2015.

Création et organisation de manifestations scientifiques :

- IEEE/RAS IROS'2011 Workshop on visual control of mobile robots.
- IEEE/RAS IROS'2014 Workshop on visual control of mobile robots.
- Workshop Européen WASC : Workshop on Architecture of Smart Cameras. WASC12 -Clermont-Fd, WASC13 - Seville (Espagne), WASC14 Pise (Italie), WASC15 Santiago del compostela (Espagne).
- Workshop international ScaBot : Workshop Smart Camera for Robotic Applications en collaboration – en conjonction avec IEEE IROS 2012 - Vilamora.
- "Special Session on Urban Scene Analysis: interpretation, mapping and modeling : USA 2014", 3ème Int. Conf. on Pattern Recognition, Applications and Methods (ICPRAM 2014, Angers, 6 au 8 mars 2014) - <http://www.icpram.org/USA.aspx>
- Session spéciale "Outils pour la navigation dans des grands espaces", 19ème congrès RFIA 2014, Rouen, Juin 2014.

Membre du comité de programme :

- ECOMR, European Conference on Mobile Robots, 2-4 septembre 2015, Lincoln, Royaume-Uni.
- Track 7 : Intelligent Robots & Systems. 17th IEEE Emerging Technologies & Factory Automation (ETF'A'12). Krakow – Poland, 17 au 21 Septembre 2012.
- Interactivist Summer Institute 2011 (University of the Aegean, Grèce) , Interactivist Summer Institute 2013 (University of South Florida, USA) : Interactivist Summer Institute 2015 (Bilkent University, Turquie).
- VEHITS 2015 International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems.
- RSS'2013 et RSS'2014 Workshop on Multi-View Geometry in Robotics (MVGRO 2013 et 2014).
- IEEE/RAS IROS Workshop on visual control of mobile robots (2011, 2012 et 2014).
- IEEE/ACM Int. Conf. on Distributed Smart Camera 2011, 2015.
- European Conference on Mobile Robotics (ECMR 2015, Lincoln, UK, Sep 2-4 2015, ECMR 2013, Barcelona, Catalonia, Spain, Sep 25-27 2013).

Membres du comité d'organisation :

- Workshop "Robotics 2010", Clermont-Ferrand les 3-4 sept. 2010 dans le cadre de la conférence AgEng (International. Conference on Agricultural Engineering).
- 53ème congrès du Club EEA, Clermont-Ferrand, 30 et 31 mai 2013.
- 17ème Congrès RFIA 2012 à Amiens.
- Journées EcoTechs "Véhicules en milieux naturels : de l'assistance à l'autonomie" organisées à Montoldre (Allier-03) les 16-17 avril 2014.

Edition scientifique :

- Guest Editor Robotics and Autonomous Systems, special issue on Visual Control of Mobile Robots - IEEE International conference on Robotic and Automation (ICRA'2015).
- IEEE IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'2015).
- Special Session Architecture of Smart Camera dans Int IEEE/ACM ICSDSC201.
- Numéro special "Architecture of Smart Cameras" dans Elsevier - Journal of System and Architecture Novembre 2013, F.Berry, R. Kleihorst et R. Carmona.
- <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13837621/59/10/part/PA>
- Numéro special Architectures of Smart Cameras for Real-Time Applications Springer - Journal of Real-Time Image Processing" 2014, F.Berry, R. Kleihorst, R. Carmona et D. Gin hac.
- http://static.springer.com/sgw/documents/51404130/application/pdf/CFP_Special_Issue_on+Architectures+of+Smart+Cameras+for+Real-Time+Applications.pdf

Responsabilités scientifiques :

- Responsable GT2 VT – GDR Robotique (jusqu'en Déc. 2014).
- Comité scientifique prix de thèse du GDR Robotique 2014.
- Membre du conseil d'administration de l'AFRIF "Association Française Reconnaissance et Interprétation des Formes, Janvier 2004 - Décembre 2014.
- Membre du bureau du pôle de compétitivité ViaMéca - 2007.
- Membre de la commission de labellisation des projets du pôle ViaMéca - 2006.
- Membre de la commission d'attribution de la prime d'encadrement doctorale devenue PES, section 61ème du CNU 2010, 2012 et 2013.
- Membre de la commission d'attribution de la PES, section 07 du CoNRS en 2010.
- Directeur du LabEx IMobS3 depuis 2012.

- Co-Responsable du Défi 1 Véhicules et Machines Intelligentes du LabEx IMobS3.
- Coordinateur du projet Innov@Po1e dans le cadre du CPER 2007-2013 (5 établissements, 15 laboratoires, 510 équivalents temps plein, budget global 12 MEuros).
- Coordinateur de l'axe "Procédés du futur" du projet d'1-SITE de la place universitaire Clermontoise, Juillet 2014.

✓ Expertises

- 3 Experts projets Ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation DGRI SITTAR C1, Département des politiques d'incitation à la R&D.
- 1 Expert sur appels à projets de recherche déposées auprès du Ministère du commerce, de l'innovation et de l'emploi de Nouvelle-Zélande (MBIE : Ministry of Business, Innovation, and Employment) dans le cadre de l'appel "2013 science investment round" sur le domaine "Biological Industries Research Fund". Evaluation de projets ayant trait à la robotisation de certaines pratiques agricoles.
- 15 Experts nationaux, sur des appels à projets de recherche déposées auprès de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre des appels PREDIT, VTT et TDM, Emergence, ARPEGE, Blanc) – 2010-2015.
- 2 membres du comité de sélection ANR (VTT puis TDM).
- 1 Expert pour les rapports du réseau EUCognition (dans ces itérations EUCogII et EUCogIII) pour la fin du FP7 et la transition vers H2020 (sur les aspects systèmes cognitifs, robotiques et naturels).
- 1 Expert scientifique agence nationale de la recherche espagnole ANEP (Programme DPI2013, DPI2015, Programme Univ Carlos III CONEX 2015).
- 1 Expert projets Programme ERC 2014 Starting grant.
- 5 Experts Evaluation de dossiers Bourse CIFFRE.
- 1 Expert Evaluation de chercheurs IFSTTAR 2011.
- Experts AERES évaluations laboratoires : membre du comité du centre INRIA InriAlpes en 2010, membre du comité du laboratoire ETIS de Cergy Pontoise, Président du comité du laboratoire LAMIH de Valenciennes, novembre 2013, membre du comité du laboratoire IBISC d'Evry, Président du comité d'évaluation à mi-parcours du laboratoire MIS d'Amiens, Novembre 2014, Membre du comité HCERES du département COSYS de l'IFSTTAR, Février 2015.
- 1 Expert nommé par l'UBP auprès du Comité Auvergne pour la Recherche et l'Innovation"(CART), instance chargée d'expertiser les dossiers en lien avec les Appels à Projets de la Région dans le cadre du CPER ou actions associées.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

L'ambition scientifique de l'Axe ISPR est d'aller du développement de concepts théoriques à la réalisation de démonstrateurs réalistes. Cette stratégie permet naturellement la mise en place d'interactions fortes avec le monde socio-économique et culturel qui se traduisent par un partenariat privilégié à travers des bourses CIFRE, des projets de type FUI et/ou le financement de thèse.

- Partenariat avec la MNPF Michelin :
 - 4 contrats industriels sur la période.
 - Actions de formation continue récurrente en Automatique et Traitement du Signal.
 - Démonstration du projet VIPA au Challenge Bibendum et sur le site de recherche Michelin à LADOUX dans le cadre du projet FUI VIPAFLEET.
 - Mobilité partielle de deux E/C (Institut Pascal-ISPR/IFMA).
 - Construction d'un laboratoire sans mur autour de la thématique.
- Véhicule autonome EZ10 : ce véhicule est un produit industriel finalisé par la société EasyMile dans le domaine des navettes automatiques sans chauffeur. Le véhicule EZ10 a été présenté officiellement au mondial de l'automobile 2014 (Paris), et en mode opérationnel au Challenge Bibendum 2014 (Chengdu, Chine). <http://www.easymile.com/>. Les acteurs industriels de ce transfert de compétences de l'Axe ISPR sont : Automobiles LIGIER, EasyMile et Michelin.
- Unité Mixte de Technologie « UMT08.2 : Mécanisation/robotisation dans les filières viandes et produits carnés » créée le 15 octobre 2008 et prolongée en 2014 sous l'intitulé MECARNEO (Partenaires UBP, CNRS, IFMA, ADIV- Institut Technique Agro-industriel des filières viandes, CEA).
- Participation au Salon INNOROBO (Lyon 2013, 2014 et 2015).
- Démonstration du projet ANR ASTRID BAUDET-Rob au salon de l'agriculture et des solutions dérivées (SIMA2015), Salon Mondial de l'Automobile (Paris 2010, et 2014).

- Création de Start-Up : 4DVIRTUALIZ, LOGIROAD, WISIP, REOVIZ.
- Valorisation et transfert de technologie :
 - 2 bourses CIFRE RENAULT, 1 bourse CIFRE LOGIROAD, 9 bourses CEA sur la période.
 - 3 projets en cours FUI VIPAFLEET, CLEAN, ROMAPE, 2 projets FUI terminés VIPA et SRDViand.
 - 1 projet en cours ADEME BUSINOVA.
- Partenariat fort avec le pôle de compétitivité VIAMECA : Conception, production et intégration de systèmes mécaniques intelligents.

Il faut indiquer également que l'Axe ISPR - à travers sa Plateforme de test dédiée aux véhicules Intelligents (PAVIN) - réalise de nombreuses démonstrations soit dans un contexte industriel soit dans un contexte grand public lors des grandes manifestations de vulgarisation scientifique comme par exemple la Fête de la Science.

✓ *Production - Brevets*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
BRE	1	2	2	1	1	1	8

✓ *Liste des contrats*

	Type	Nombre
Contrats	FUI	5
	IND	8
	ADEME	1

Formation

- Master UBP Mention **Génie mécanique et civil, automatique, robotique**, Spécialité **Robotique** (Resp. Y. Mezouar) et Spécialité **Mécatronique** (Resp. B. Thuilot/ T. Château).
- Master UBP Mention **Ingénierie des systèmes électroniques et énergétiques** (Resp. F. Berry) et Spécialité **Microélectronique et architectures des Circuits Intégrés** (Resp. F. Berry).
- Départements : Informatique des Systèmes Embarqués - ISIMA (Resp. R. Aufrère) ; Machines Mécanismes et Systèmes - IFMA (Resp. Y. Mezouar) ; Génie Electrique, Polytech/Clermont - UBP (Resp. J. Sérot) ; Génie des Systèmes de Production, Polytech/Clermont - UBP (Resp. R. Chapuis) en double cursus ou en accès direct en thèse de doctorat après décision de l'ED Sciences Pour l'Ingénieur.

Cinq réalisations majeures de l'Axe

- **Stratégies de localisation** pour les robots mobiles et pour la réalité augmentée par 1.) ajustement de faisceaux contraint, et 2.) approche de perception top-down focalisante multi-sensorielle avec des actions de valorisation associées. [ACL-PAMI12, ACL-IJCV-11, ACL-CVIU13, ACTI-CVPR10:11, ACL-ITS-14, Projets ANR VTT CityVIP (Porteur national du projet), ANR VTT SafePlatoon, Proteus, VIPA, FUI VipaFLEET, LabEx IMobS3, EquipEx ROBOTEX.
- **Stratégies de commande d'une flotte de robots mobiles** pour la mise en configuration en milieu urbain et naturel [ACL-TSMC212, ACL RAM14, Projets ANR R-Discover, ANR CityVIP, ANR VTT SafePlatoon, LabEx IMobS3, EquipEx ROBOTEX.
- **Simulateur Cobaye** : Plateforme de simulation pour la validation d'une architecture logicielle et matérielle d'un robot) et la création de la Société 4D-Virtualiz en 2014 [Brevet 13731106.4 -- 1807 2015], action transversales dans le défi "Véhicules et Machines Intelligents" du LabEx.
- **Caméra panoramique cylindrique intelligente basée sur une architecture many-cœurs**. [ACL JRTIP 14, Projet européen SEEMOVES - Cluster Eureka Euripides]
- **Véhicule autonome EZ10** : ce véhicule est un produit industriel finalisé par la société EasyMile dans le domaine des navettes automatiques sans chauffeur. Le véhicule EZ10 a été présenté officiellement au mondial de l'automobile 2014 (Paris), et en mode opérationnel au Challenge Bibendum 2014 (Chengdu, Chine). <http://www.easymile.com/>

Analyse SWOT

Forces

- Champs de discipline scientifique resserrés (61ème section CNU/07 CNRS).
- 3 Maitres de Conférences recrutés (100% extérieur).
- Responsabilités de formation et de structures de recherche (Laboratoire Institut Pascal, LabEx IMobS3, EquipEx ROBOTEX RobMob, Projet CPER 2010-2015 Innov@Pôle).
- Forte activité de publication dans les congrès au meilleur niveau international.
- Très bonne intégration de l'Axe dans le contexte de site (futur I-SITE, CPER 2015-2020, Labo sans mur Michelin, Leader LABEX IMobS3).
- Reconnaissance scientifique internationale en croissance dans les 4 thèmes.
- Très bon niveau de coopération internationale.
- Activité en hausse de publications dans les revues.
- Deux grands champs applicatifs : robotique mobile et robotique et robotique manufacturière.
- Très fortes implications IRSTEA/ISPR et IP-MMS/IP-ISPR.
- Projet FUI en hausse, Valorisation importante vers le milieu industriel à travers VIAMECA.
- Plateformes expérimentales de qualité.

Faiblesses

- Pas suffisamment d'ouverture vers la 27ème section.
- Responsabilités de formation et de structures de recherches dévoreuses de temps : 3 responsables de Département Polytech et IUT, 1 responsable de Master, 1 directeur de laboratoire et de LabEx, 1 directeur IFMA.
- Départ de 2 chercheurs CNRS (A.Bartoli, A. Comport), d'un PR (P. Martinet) et d'un MCF-HDR (N. Andreff).
- Un poste gelé (départ P. Bonton en retraite).
- Peu de candidature CR/DR CNRS.
- Participation à des projets ANR en baisse.
- Absence de participation en projet européen (échecs sur 4 H2020 en 2014 et sur 2 en 2015).

Opportunités

- Laboratoire sans mur MICHELIN en cours de construction pour septembre 2015
- Laboratoire ISIT/IGT à intégrer à l'Institut Pascal par la création d'un cinquième Axe et la mise en place d'une forte synergie avec ISPR.
- Accueil de collègues ISIT au Puy en Velay (CNU 61ème /27ème) dans un 5ème thème ISPR.
- Candidature CR/DR CNRS à promouvoir.
- Participation à H2020.

Risques

- Affaiblissement de l'Axe ISPR liés aux ressources humaines.
- Politique de gel de postes maintenue (?) pour 2 futurs départs en retraites, en supplément de celui actuellement gelé.
- Répondre aux enjeux en cours (Labo. sans mur, intégration du laboratoire ISIT/IGT).
- Ne pas occuper la place internationale que devrait avoir l'Axe ISPR.

1.2.2.1. Thème COMSEE

Personnels

1 DR, 3 PR, 1 CR-HDR, 1 MCF-HDR, 5 MCF

Omar AIT-AIDER (MCF61, UBP), Christophe BLANC (MCF61, UBP), **Thierry CHATEAU** (PR61, UBP), **Frédéric CHAUSSE** (MCF61-HDR, UdA), Michel DHOME (DR07, CNRS), Jean-Marc LAVEST (PR61, IFMA), Nadine LAVIGNOTTE (PR61, UBP), Maxime LHUILLIER (CR07-HDR, CNRS), Eric ROYER (MCF61, UBP), Céline TEULIERE (MCF61, UBP), Christophe TILMANT (MCF61, UBP)

Associés

Owan Kevin APPADOO (MCF27, UBP), François COLLANGE (MCF61, UdA), Marc RICHTIN Marc (PR Emérite 61, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (16) : Samir KHOUALED Samir (Sans financement, Sept. 2007 - Nov. 2013), Manuel GRAND-BROCHIER (MESR, Sept. 2006 - Déc. 2011), Pierre LEBRALY (Bourse Projet Région VIPA, Sept. 2008 - Janv. 2012), Baptiste CHARMETTE (Bourse ANR CityVIP, Oct. 2008 - Déc. 2012), Mohamed TAMAAZOUСТИ (Bourse CEA, Oct. 2008 - Mars 2013), Loïc JOURDEUIL (Bourse CEA, Jan. 2009 - Jan. 2012), Clément GUILLOT (Bourse CEA, Sept. 2008 - Déc. 2011), Thierry CHESNAIS (Bourse CEA, Oct. 2009 - Juil. 2013), Jean-Marc BERTHOME (MESR, Oct. 2009 - Oct. 2013), Pierre BOUGES (Bourse CEA, Nov. 2009 - Déc. 2012), Siméon SCHWAB (Bourse CIFRE VESALIS, Jan. 2010 - Juin 2013), Shuda YU (Bourse ANR CityVIP, Avr. 2010 - Juin 2013), Dorra LARNAOUT (Bourse CEA, Oct. 2010 - Avr. 2014), François CHADEBECQ (Bourse ANR 3DSTRAIN, Mars 2011- Avr. 2014), Clément DEYMIER (Bourse ANR ISpace&Time, Sept. 2011 - Juin 2014), Vadim LYTVINOV (Bourse Filière Région, Déc. 2011 - Jan. 2015)

Thèses en cours (14) : Hamid ODABAI (Bourse CEA, Nov. 2011), Gaspar DUCHAMP (Bourse Région/Feder Equipex ROBOTEX, Dec. 2011), Data RAMADASAN (Bourse Région, Nov. 2012), Clément BEITONE (Bourse ANR 3DSTRAIN, Oct. 2012), Katia MELBOUCI (Bourse CEA, Oct. 2012), Ghina EL NATOUR (Bourse LabEx IMobS3 Action HyPop, Oct. 2012), Laurent MENILLO (Bourse CIFRE Renault, Jan. 2013), Houda MAAMATOU (Co-tutelle Sousse (TN) CIFRE LOGIROAD, Avr. 2013), Morgan SLADE (FUI VIPAFleet, Oct. 2013), Florian CHABOT (Bourse CEA, Mars 2014), Charles-Antoine NOURY (FUI Clean, Nov. 2014), Angélique LOESCH (Bourse CEA, Oct. 2014), Tin NGUYEN (MESR, Oct. 2014), Pierre DUTHON (Bourse CEREMA, Oct. 2014)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Dorra LARNOUAT (PD, Sept. 2014 - Mai 2015), Sebastien CAUX (IE, Sept. 2014 - Juin 2015)

Collaborateurs administratifs

Eliane DE DEA (UBP)

Identité scientifique

Les actions menées au sein de la thématique scientifique ComSee (*Computers that See*) s'articulent autour de la problématique générale de la **Vision par Ordinateur** et concernent principalement les techniques de **modélisation et d'estimation**.

Les travaux réalisés dans le cadre des cinq dernières années visent à atteindre les deux objectifs scientifiques suivants :

- la localisation et la reconstruction 3D temps réel de scènes rigides à partir de systèmes mono et multi-caméras,
- le suivi et la reconnaissance d'objets dans des séquences vidéo.

Pour atteindre ces objectifs, les membres de ComSee développent une expertise originale dans les domaines de la **vision géométrique** et de **l'interprétation de séquences d'images temporelles**.

Les principales contributions réalisées dans le domaine de la vision géométrique concernent l'auto-étalonnage et la modélisation des systèmes de perception, l'ajustement de faisceaux contraints, la localisation et la reconstruction tridimensionnelle de scènes rigides à partir de systèmes mono et multi-caméras. Les principales contributions réalisées dans le domaine de l'interprétation de séquences d'images temporelles concernent l'étude de descripteurs spatio-temporels, la segmentation spatio-temporelle, la détection et la reconnaissance d'objets dans des séquences d'images par des méthodes basées apprentissage.

Les principales cibles applicatives adressées sont en rapport avec les thèmes transversaux de l'Institut Pascal ou les projets structurants de site auxquels le laboratoire émerge. La forte implication de ComSee dans le

laboratoire d'excellence ImoBS3 et l'EQUIPEX Robotex donne accès à des outils et moyens de recherche importants dans le domaine de la mobilité, comme la plate-forme expérimentale PAVIN ou les véhicules autonomes VipaLab. Dans ce cadre de nombreux projets sont réalisés en collaboration avec les autres thématiques scientifiques de l'Axe ISPR. Cette politique contribue à maintenir et à amplifier la dynamique entre les quatre thématiques de l'Axe.

D'autre part, des travaux privilégiés sont également menés dans le domaine de l'imagerie médicale avec le laboratoire Clermontois ISIT, qui rejoindra l'Institut Pascal dès 2017.

Une des spécificités de la thématique réside dans le maintien d'un équilibre entre le développement de contributions méthodologiques scientifiques et la réalisation concrète de démonstrateurs temps réel. Ceci constitue un vecteur de communication majeur qui contribue ainsi à promouvoir nos travaux auprès des industriels et débouche sur le dépôt de codes et de brevets d'invention, ainsi que la création de *startups*.

Contexte

ComSee s'intègre bien entendu au sein de la communauté internationale de vision par ordinateur au travers de publications dans les congrès majeurs du domaine et les revues à fort impact. En complément, des actions d'animation et de valorisation de la recherche et l'accueil de nombreux chercheurs étrangers confortent notre engagement scientifique.

L'Institut Pascal compte parmi des laboratoires Français les plus visibles dans le domaine de la vision par ordinateur. Il s'en démarque notamment par un leadership national et une reconnaissance internationale dans le domaine de l'ajustement de faisceaux contraint, attestés par des publications majeures. Cette visibilité est également importante dans le contexte actuel de fusion des régions qui ouvre au plan organisationnel notre périmètre régional aux laboratoires lyonnais (LIRIS, CREATIS) et grenoblois (Laboratoire Jean Kuntzmann, Gipsalab). ComSee est également particulièrement visible sur la thématique de niche de la modélisation des caméras de type Rolling-Shutter. D'un point de vue national, un lien historique fort existe entre ComSee et le CEA LIST, attesté par le co-encadrement de 4 thèses soutenues et 4 en cours, ainsi qu'un projet de laboratoire sans mur, en cours de montage.

D'autre part, il convient de noter la progression importante de la valeur des contributions scientifiques de ComSee autour des méthodes "basées apprentissage", avec un positionnement de niche dans l'utilisation de techniques de Machine Learning pour des méthodes d'adaptation et de spécialisation de détecteurs dans des séquences d'images. Cette progression intervient dans un contexte où la part des travaux autour des méthodes "basées apprentissage" augmente de manière significative dans la communauté internationale de vision par ordinateur.

Réalisations

Au cours des cinq dernières années, la thématique scientifique ComSee a produit plusieurs contributions importantes dans le domaine de la vision par ordinateur, dans le but d'atteindre les deux principaux objectifs fixés : la localisation, reconstruction 3D temps réel et le suivi et reconnaissance dans des séquences vidéo. Ces réalisations sont présentées ci-dessous à travers un cheminement qui part de la modélisation du capteur jusqu'à l'interprétation de haut niveau de données spatio-temporelles.

- **Auto-étalonnage et modélisation de systèmes de perception**

Plusieurs travaux ont été réalisés autour de la modélisation et de l'étalonnage des systèmes de perception. Nous avons proposé une méthode originale d'étalonnage d'un système de perception caméra-télémetre-centrale inertielle [Deymier]. A partir d'une première estimation grossière des paramètres extrinsèques des capteurs ainsi que des paramètres intrinsèques des caméras, l'erreur d'étalonnage est exprimée comme la somme pondérée des erreurs de reprojection image et des écarts des primitives 3D à la surface échantillonnée par les données télémétriques. Cette erreur est alors minimisée par une méthode d'optimisation non linéaire itérative. L'approche a été testée sur des séquences virtuelles et réelles. La problématique de l'étalonnage d'un système multi-caméras à champs non recouvrants embarqué sur un véhicule a également été abordée [Pierre Lébraly]. Une première méthode utilisant un miroir plan pour créer un champ de vue commun a été développée, puis une deuxième méthode d'auto-étalonnage utilisant une séquence vidéo enregistrée en faisant exécuter au véhicule une trajectoire particulière a montré d'aussi bons résultats.

Dans le but d'exploiter la complémentarité des deux capteurs, nous avons étudié le couplage d'un radar hyperfréquence (pour créer une carte de profondeur 2D), et d'une caméra fournissant une information de grande résolution spatiale sur la forme et l'apparence des objets présents dans la scène [Ghina El-Natour].

L'objectif est de créer une carte d'élévation augmentée avec des informations de couleur et de texture, voire avec des informations sémantiques (bâtiment, arbre, voiture,...). Plus que la fusion de données, il s'agit d'aller vers un capteur à part entière de type Kinect mais pour des scènes extérieures. Une formalisation géométrique de l'ensemble caméra/radar et des méthodes flexibles d'étalonnage et de reconstruction 3D de cibles canoniques ont été proposées. Dans le cadre du projet Européen Seemoves et en collaboration avec le thème DREAM, nous avons étudié et mis en œuvre un capteur linéaire rotatif fournissant des images panoramiques cylindriques ainsi que son application à la reconstruction 3D et à la localisation d'un véhicule autonome. Un modèle géométrique qui prend en compte quasiment tous les degrés de liberté du système a été proposé. Une méthode originale d'étalonnage permet de gérer une singularité apparaissant lorsque l'Axe rotation passe par le centre optique. Cette méthode est également flexible et facile à mettre en œuvre car elle est basée sur des appariements inter-images et ne nécessite pas de mire 3D. Enfin, la localisation monoculaire et la géométrie épipolaire de ce capteur ont été définies [Pelissier].

- **Détecteurs et descripteurs**

Pour certaines applications de la vision artificielle les caractéristiques visuelles extraites des images grâce à des algorithmes bien connus (Harris et Stephen, SIFT, SURF, etc., ...) peuvent ne pas suffire pour atteindre les performances attendues. Par exemple, dans le cas de la navigation d'un robot mobile par mémoire visuelle, des points d'intérêt sont mis en correspondance entre l'image courante et une séquence d'images enregistrée lors du parcours préalable d'une trajectoire de référence. Si pour une raison ou une autre la trajectoire suivie par le véhicule robotisé s'écarte trop de la trajectoire de référence le nombre de points mis en correspondance peut s'avérer insuffisant et la navigation autonome devenir impossible. Pour pallier ce type de problèmes des contributions ont été apportées sur deux aspects.

Le premier concerne la définition de caractéristiques visuelles moins sensibles. Les points d'intérêts sont modélisés sous forme de facettes localement planes, les "*patches* plans", dont l'orientation est estimée pendant la phase d'apprentissage qui permet de définir la trajectoire de référence. La texture de ces "*patches*" est également déterminée pendant cette même phase. Lorsque le véhicule se déplace, la position courante de la caméra est prédite ce qui permet de reproduire la déformation du *patch* induite par le changement de point de vue. Le traitement de cet ensemble de "*patches*" est coûteux en temps de calcul. Une implantation particulière utilisant le processeur graphique (GPU) en association avec le CPU permet l'utilisation en temps réel. D'autres travaux ont amené à proposer un **descripteur de points d'intérêts en utilisant un recalage et une mise à l'échelle** du masque locale d'analyse sous forme elliptique et utilisant des histogrammes de gradients orientés (E-HOG). Nous avons proposé également une généralisation de cette approche au domaine spatio-temporel, permettant ainsi d'élargir le domaine d'utilisation. Le masque d'analyse s'appuie sur l'utilisation d'ellipsoïdes et ce descripteur spatio-temporel a démontré ses performances en terme de robustesse aux transformations affines 2D+t: il est invariant aux transformations affines géométrique et temporelle.

Le second vise à évaluer les performances des algorithmes "classiques" mentionnés ci-dessus, face notamment à des conditions météorologiques dégradées. Il s'agit d'une étude expérimentale qui porte en priorité sur l'influence de la pluie. Pour étudier le comportement des algorithmes dans de nombreuses conditions de pluie, il faut disposer d'une base de données d'images dont les paramètres sont au moins connus sinon contrôlés. Ainsi les tests sont réalisés sur des images provenant de trois origines : pluie simulée numériquement, pluie générée en laboratoire, et pluie réelle en milieu naturel. Ce travail exploratoire, commencé en septembre 2014 est une collaboration de recherche entre le Cerema et l'Institut Pascal dans le cadre du laboratoire d'excellence IMobS3.

- **Localisation**

La thématique ComSee de l'Axe ISPR possède un savoir-faire ancien et reconnu sur le thème de **l'odométrie visuelle**.

Il s'agit, à partir de l'analyse du contenu d'une séquence vidéo de remonter à la trajectoire suivie par la caméra lors de l'enregistrement. Ceci nécessite la maîtrise d'un processus comportant sur trois étapes :

- la **détection** automatique des points d'intérêt présents dans les images ;
- **l'appariement** automatique des points homologues (points d'intérêt correspondant à l'observation d'un même amer visuel) ;
- la mise en œuvre d'un **ajustement de faisceaux** permettant, simultanément, la détermination des positions spatiales successives du capteur ainsi que l'estimation des coordonnées tridimensionnelles des amers visuels observés. Il est important de noter que cette dernière étape correspond à l'optimisation d'une fonctionnelle pouvant intégrer plusieurs milliers de degrés de liberté.

La première exploitation concrète de ce résultat a été le développement d'une **alternative au GPS centimétrique en milieu urbain**. L'approche proposée repose sur le traitement "hors ligne" d'une séquence vidéo enregistrée durant le parcours d'un itinéraire à reproduire. Cette séquence est alors traitée afin de

remonter à la trajectoire suivie par le véhicule et la reconstruction des amers visuels caractérisant l'environnement du parcours. Lors de la phase d'exploitation "en ligne", la mise en correspondance automatique de ces mêmes amers avec les points d'intérêt contenus dans l'image courante permet la localisation "en temps réel vidéo" du véhicule (précision de l'ordre de 2 à 3 centimètres) et donc de contrôler sa position vis à vis de la trajectoire de référence.

Durant ces dernières années, plusieurs travaux ont été menés qui, dans des contextes différents, correspondent à [l'introduction de contraintes dans le processus d'ajustement de faisceaux](#).

Ainsi, afin d'accroître la robustesse de la technologie de guidage par vision artificielle précédemment évoquée, nous avons mis en œuvre d'un [système binoculaire à champs non recouvrant](#). Ainsi tandis qu'une caméra surveille la scène avant du véhicule, une seconde observe la scène arrière. Ceci apporte une sécurité d'exploitation accrue mais permet également de lever l'ambiguïté sur le facteur d'échelle inhérent à l'approche monoculaire initiale. En effet, le "bras de levier" (distance) constant entre les deux capteurs est introduit comme une contrainte à respecter durant la phase de reconstruction de la trajectoire. Un brevet international a été déposé en 2012.

Plus récemment, nous avons abordé le problème de la [localisation, précise et temps réel vidéo, d'une caméra](#) naviguant à proximité d'un objet connu [dans une perspective de réalité augmentée](#) (incrustation photo réaliste d'informations 3D sur le flux vidéo). La solution préconisée repose sur la genèse de techniques d'ajustement de faisceaux contraints travaillant à partir de points d'intérêt de la scène ou des contours des objets observés. Ainsi toute primitive de l'environnement est reconstruite sans contrainte particulière, mais celles issues du cône d'observation de l'objet d'intérêt sont contraintes à appartenir à la surface de ce dernier. Cette approche permet d'envisager des systèmes de réalité augmentée performants notamment pour l'aide à la maintenance. Un brevet français a été déposé en 2011. Dans ce contexte applicatif particulier, le [potentiel des caméras temps de vol](#) a été testé en exploitant conjointement un modèle CAO, les données visuelles et les informations de profondeur. Une nouvelles bibliothèque d'optimisation non linéaire a été proposée (disponible en licence LGPL) spécialement adaptée au problème de l'ajustement de faisceaux avec un nombre variable de contraintes et plusieurs familles de paramètres.

D'autres travaux ont porté sur la prise en compte, au sein du processus d'ajustement de faisceaux, de [contraintes inhérentes à la connaissance préalable de la carte de l'environnement](#) (ex : plan cadastral) d'évolution d'un véhicule, ceci afin de géo-référencer les reconstructions obtenues et de pouvoir répondre, dans le cadre d'une application de conduite autonome, à une demande du type « aller au 3 de la rue de la paix ». Ce travail est actuellement étendu au sein du projet FUI VIPA FLEET avec pour objectif l'hybridation, pour une précision et une robustesse accrues, des données [cadastrales, visuelles et télémétriques](#).

ComSee a également proposé des contributions concernant la [fusion incrémentale de données structure-from-motion et GPS à l'aide d'ajustements de faisceaux contraints](#).

Le calcul de la géométrie par *structure-from-motion* sur de longues séquences d'images est sujet aux erreurs d'accumulations ou dérive. On propose ici de réduire la dérive en fusionnant la géométrie avec des données GPS bas coût. Une méthode existante permet déjà cela à l'aide d'un ajustement de faisceaux minimisant une somme pondérée d'erreurs images et GPS, mais cette méthode ne garantit pas une limite supérieure sur l'erreur de reprojection finale. On propose donc des méthodes d'ajustement de faisceaux garantissant ceci, l'une d'entre elle ne faisant pas intervenir de pondération. Elles sont basées sur des méthodes d'optimisation non linéaire sous contraintes, la première utilise une contrainte d'inégalité sur l'erreur image et la seconde une contrainte d'égalité "affaiblie" sur le GPS. Les méthodes sont expérimentées dans le contexte incrémental : le calcul s'effectue tout au long de la lecture de la séquence, prise par une caméra fixée sur une voiture et effectuant des trajets de plusieurs kilomètres en ville.

Un grand nombre de caméras grand public vendues aujourd'hui sont équipées de capteurs CMOS dotés d'un dispositif de type [rolling shutter](#). Ces caméras à bas coût, basse consommation et rapides sont particulièrement appréciées pour les applications embarquées. Cependant, l'exposition des pixels ligne par ligne provoque des distorsions géométriques lorsque la caméra se déplace, rendant les algorithmes classiques de *structure-from-motion* moins précis, voire inadaptés. Récemment, des méthodes de localisation monoculaire et de reconstruction 3D prenant en compte ces distorsions ont été proposées. Le [calcul de pose 3D basé sur un modèle](#) a fait l'objet d'un travail original avec notamment la proposition d'une solution polynomiale globalement convergente avec une application à la mise en correspondance automatique de type RANSAC. La cartographie 3D et la localisation pour un véhicule urbain a également été abordé. Une méthode [exploitant le fait que le flot optique est particulièrement fort lors d'un mouvement où la rotation est dominante](#) a notamment été développée apportant une amélioration de la précision de la reconstruction.

- **Reconstruction de surface**

La grande majorité des méthodes automatiques de reconstruction de surface à partir de séquences d'images sont basées sur deux étapes : une étape d'estimation de la géométrie par *structure-from-motion* et une étape de stéréo dense. La seconde est particulièrement coûteuse pour les longues séquences et n'est parfois pas possible pour certaines situations, par exemple dans les parties faiblement texturées des images. C'est pourquoi on s'est intéressé depuis 2011 au **calcul de surface directement à partir du nuage de points épars fourni par le processus de *structure-from-motion***. L'originalité de nos méthodes repose donc sur **des points épars en entrées, et des contraintes de 2-variété et de visibilité**. Celles-ci sont de deux types : celles qui calculent la surface en supposant que tous les points sont connus dès le début, et celles qui mettent à jour la surface au fur et à mesure que les points sont reconstruits. Bien que le niveau de détail obtenu soit inférieur aux approches traditionnelles "denses", les approches développées permettent de reconstruire des environnements complets (ville avec sol, bâtiment, végétation) de façon plus rapide, grâce à l'utilisation de caméras omnidirectionnelles montées sur un casque ou une voiture.

- **Suivi/Segmentation**

D'importants travaux sur **le suivi visuel et la segmentation** ont été menés pour des applications comme la vidéosurveillance et l'imagerie médicale.

Pour répondre à une problématique d'estimation de profondeur à l'échelle à partir d'une séquence vidéo issue d'une coloscopie, une méthode de **suivi robuste au flou optique** a été mise en place. De plus, elle permet d'estimer de façon fiable le flou du système d'acquisition, modélisé ici par une caméra monoculaire à focale fixe, afin d'inférer une échelle de la scène à une reconstruction 3D.

Un problème courant dans les méthodes de suivi visuel est le choix des indices extraits de l'image. Par exemple, dans le cadre de la vidéosurveillance, les objets à suivre ainsi que les fonds ont une variabilité importante, il est donc difficile de définir *a priori* les bons indices. Nous avons proposé, en se basant sur des techniques d'apprentissage en ligne et de filtrage particulière, une méthode de suivi d'un objet estimant **la meilleure combinaison des indices visuels conjointement à la pose de l'objet**.

Le suivi d'un grand nombre d'objets dans une séquence vidéo à partir de plusieurs indices visuels est un problème important dans le domaine de la vidéo-surveillance. Nous l'avons abordé comme la résolution d'un Maximum A Posteriori par une recherche de flot de coût minimal dans un graphe codant la séquence. De plus, le choix des résolutions spatiale et temporelle est un compromis à réaliser et nous pouvons être amenés à privilégier l'une des deux résolutions. Par exemple, dans le cas de la détection d'objets stationnaires, nous pouvons utiliser des caméras PTZ (Pan-Tilt-Zoom) avec un grossissement important tout en effectuant des tours de garde : cela est équivalent à une séquence vidéo avec un très faible taux de rafraîchissement (quelques images par minute). Nous avons proposé, dans ce cadre, des méthodes de segmentation par soustraction de fond à fréquence d'acquisition faible, qui a été rendu plus robuste dans un deuxième temps par l'utilisation d'une paire de caméras PTZ pour localiser des objets en 3D.

On retrouve également ce problème de résolution spatio-temporelle dans l'analyse de volumes de données en imagerie cardiaque. Pour résoudre ce compromis, nous proposons une méthode de segmentation multimodale du myocarde, qui permet de coupler au mieux les informations de plusieurs modalités. Entre autres, l'information anatomique de l'IRM (la forme de l'objet) permet de contraindre la segmentation en imagerie ultrasonore. Le recalage entre ces deux acquisitions se réalise par un invariant qui est le déplacement anatomique.

Un problème récurrent en segmentation et en extraction fond/forme est la difficulté d'obtenir une vérité terrain (base de données trop importante, variabilité intra et inter expert(s)). L'équipe a mené des actions autour de l'évaluation de la segmentation en imagerie médicale sans méthode de référence, en participant à un groupe de travail au sein du GDR STIC Santé [Jehan-Besson]. De même, l'extraction fond/forme est un problème qui a donné lieu à de nombreuses méthodes dans les quinze dernières années. Nous avons proposé, à travers un *benchmark* public, un workshop international lié à la conférence ACCV et l'édition d'un numéro spécial de la revue CVIU une comparaison de l'état de l'art. Ces travaux sont maintenant intégrés dans la documentation de la librairie OpenCV3.²

- **Détection/reconnaissance**

Nous proposons plusieurs contributions autour de la détection et de la reconnaissance d'objets dans des séquences vidéo par **des méthodes basées apprentissage**.

Les méthodes de type *Adaboost* s'appuient sur un ensemble de *classifieurs* faibles combinés pour former un *classifieur* fort. Dans un grand nombre de cas, un *classifieur* faible est lié à une sous-partie de l'image à

² http://docs.opencv.org/trunk/doc/tutorials/video/background_subtraction/background_subtraction.html

détecter. Nous avons proposé une modification de l'algorithme d'apprentissage **capable de prendre en compte l'absence de certains classifieurs faibles**. Cela permet par exemple de détecter des visages partiellement masqués par des bonnets, des écharpes ou dont la pose implique une auto-occlusion implicite. Cette technique a été valorisée dans le cadre du projet OSEO BioRafalle qui consiste à détecter, de manière automatique, les personnes interdites de stades lors de manifestations sportives.

Nous avons également proposé, dans le cas d'un détecteur de type *Adaboost* s'appuyant sur différentes modalités et différents indices, une modification de **la sélection du classifieur faible qui prend en compte son temps d'exécution**. Il en résulte un détecteur optimisé en termes de temps algorithmique. Cette contribution a été utilisée dans une application de détection de piétons à partir d'une base stéréo.

Dans l'analyse de scènes urbaines, il est parfois nécessaire de catégoriser un grand nombre d'objets, avec le problème du temps de détection qui augmente de manière linéaire avec le nombre de classes à détecter. Nous avons proposé une méthode basée sur un classifieur SVM et un arbre de décision qui réduit de manière significative les temps de calcul sans dégradation de performance.

Le transfert d'apprentissage est un ensemble de techniques qui améliore un apprentissage à partir d'apprentissages antérieurs. On parle de spécialisation lorsque l'on utilise ces techniques pour accroître les performances d'un détecteur générique d'objets dans une scène particulière. Nous avons proposé une méthode de spécialisation automatique de détecteur de piétons dans le cas de scènes de vidéo-surveillance. Celle-ci combine un détecteur générique et des indices visuels spatio-temporels tels que l'extraction "fond-forme", ou le suivi d'objets pour sélectionner, de manière pertinente, un ensemble d'apprentissage adapté à la scène courante. La spécialisation peut être vue comme la recherche d'un ensemble d'apprentissage approchant la distribution de probabilité d'une scène cible, à partir d'échantillons non étiquetés de cette dernière, et d'un ensemble d'échantillons étiquetés d'une base générique. Nous proposons une formalisation probabiliste résolue par un filtre bayésien récursif afin d'approcher la distribution cible, à partir de laquelle un *classifieur* spécialisé est construit. Cette formalisation permet d'améliorer les performances d'un détecteur de manière significative.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#12	Surface reconstruction
#13	Pose and motion estimation with non-global acquisition cameras
#14	Constrained structure from motion
#15	Technology transfer: from a Visual SLAM algorithm to an autonomous vehicle/shuttle ready for industrialisation
#16	Improving learning based detectors
#17	How big is this neoplasia? Live colonoscopic size measurement

Projets collaboratifs académiques

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR VTT	CityVIP	C	2008-2011	Déplacement sûr de véhicules individuels adaptés à l'environnement urbain. <i>En partenariat avec les thèmes DREAM et MACCS d'ISPR.</i>
	ANR JCJC	Virago	C	2007-2011	Nouvelles perspectives en robotique grâce à la vision rapide à acquisition séquentielle. <i>En partenariat avec le thème DREAM d'ISPR.</i>
	ANR Arpège	Cogiro	P	2009-2012	Réseau de caméras pour la robotique à câbles. <i>En partenariat avec les thèmes MACCS et DREAM d'ISPR.</i>
	ANR Arpège	ARMS	C	2011-2014	Système Multi-bras pour la séparation de muscles. <i>En partenariat avec les thèmes DREAM et MACCS d'ISPR.</i>
	ANR CONTINT	iSpace&Time	P	2011-2014	iSpace&Time : le SIG 4D de la ville sur le web. Vers une convergence des technologies de cartographie, grille de capteurs, réalité immersive, d'animation et de simulation. <i>En partenariat avec le thème PERSYST d'ISPR.</i>
	ANR TecSan	3DSTRAIN	P	2011-2015	Quantification multimodale et validation de la fonction myocardique régionale 3D.
	ANR VTT	SAFEPLATOON	P	2011-2014	Sureté des convois de véhicules autonomes. <i>En partenariat avec les tous autres thèmes d'ISPR.</i>
	LabEx IMobS3	SurVISMOB	C	2012-2015	Surveillance et Métrologie visuelles pour la mobilité des véhicules et la sécurisation des infrastructures.

Internationaux	Eureka	SEAMOVE	P	2010-2013	Sensor Enabling Autonomous Motion by Optimized Visual Environment. En partenariat avec le thème DREAM d'ISPR.
	Corée du Sud	BRI	C	2009-2014	Transports intelligents en milieu urbain. En partenariat avec tous les autres thèmes d'ISPR.

Production scientifique

✓ Communications écrites

- 22 ACL : PAMI (1) - TOR (1) - IJRR (1) – CVIU (2) – IVC (1) Medical Image Analysis (1), ...
- 5 OS : Chapitres de livre (5)
- 72 ACTI : CVPR (4) - ICPR (3) - BMVC (3) - ACCV (3) - ICIP (4)
- 44 ACTN : RFIA (24)

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

La thématique ComSee est particulièrement attractive. D'une part, nous avons accueilli Richard Hartey (Pr, Australian National University) dans le cadre d'une chaire d'excellence de 2009 à 2012 (3 périodes de 2 mois). D'autre part, nous avons accueilli, sur des périodes d'un mois, Nicolas Saunier, Professeur associé à l'école polytechnique de Montréal, Najoua Benamara Essoukri professeur à l'Ecole Polytechnique de Sousse, Tunisie et Sami Gazzah, Professeur associé à l'Institut Supérieur d'Informatique et des Télécommunications de Sousse, Tunisie. Ces mobilités entrantes ont permis d'accueillir de manière plus informelle plusieurs doctorants dans le cadre de séjours cours.

Les liens initiés avec la Tunisie ont conduit à la mise en place de deux thèses en cotutelle. Nous sommes également impliqués dans un laboratoire sans mur avec SKKU, Corée (2010 et 2011) à travers le co-encadrement de deux thèses en cotutelle.

Nous avons organisé deux workshops franco-coréens, deux workshops Franco-Tunisien (2012 et 2013), ainsi qu'un workshop associé à la conférence ACCV (BM-ACCV).

Nous avons eu l'occasion d'intervenir sur invitation à l'école polytechnique de Montréal, l'université McGill (Montréal), dans le laboratoire SAGE (Sousse, Tunisie), l'Université Jiaotong de Xi'An (Chine) et ISRC/SKKU (Corée).

Nous sommes également particulièrement présents dans les comités associés aux principales conférences et revues du domaine :

- ECCV2010, 2014 ; CVPR2010, 2011, 2014 ; ICPR 2010, 2014 ; BMVC 2011 ; RFIA 2010, 2012, 2014 ;
- IEEE PAMI, IEEE TRO, IEEE TIP, CVIU.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

La politique défendue par la thématique ComSee réside dans le maintien d'un **équilibre entre le développement de contributions méthodologiques scientifiques et la réalisation concrète de démonstrateurs fonctionnant en temps réel**. Les conséquences directes sont une valorisation importante de nos travaux de recherche et une interaction forte avec l'environnement socio-économique. Une conséquence indirecte est l'émergence de nouvelles problématiques scientifiques issues de ces interactions.

Cette politique s'exprime tout d'abord au sein du pôle de compétitivité ViaMéca où ComSee apparaît de manière forte sur l'Axe scientifique de la thématique SIR "**Systèmes Intelligents et Robotique**" à travers, par exemple, les projets FUI CLEAN et VIPAFLEET. Nous participons au bureau, au conseil d'administration et au comité de labellisation du pôle depuis 2006, date de sa création.

A ce jour, la vitrine technologique du thème est indéniablement **la navette autonome EZ10**. Ce véhicule sans chauffeur dédié au déplacement du dernier kilomètre repose sur une technologie **innovante de guidage bas coût** issue des travaux initiés au sein de ComSee. L'EZ10 est développée et commercialisée par LIGIER Group. ComSee entretient également des liens étroits avec **la manufacture MICHELIN** : quatre contrats industriels autour de la vision par ordinateur ont été menés.

L'adossement de ComSee sur les dispositifs futurs de l'écosystème régional est important. En effet, ses défis s'inscrivent en parfaite cohérence avec la **stratégie de spécialisation intelligente (S3)** affichée récemment par le Conseil Régional d'Auvergne notamment dans les domaines stratégiques que sont « la robotique

mobile et les systèmes de production pour la compétitivité de l'appareil productif » ainsi que « les systèmes de production agricole pour des produits durables ». Certains membres de l'équipe sont également présents au sein du volet MMAyF "Mobilités, Matériaux et Systèmes du Futur" du présent CPER 2015-2020.

Le site universitaire Clermontois a décidé de concourir à l'appel à projet I-SITE qui a pour objectif de dessiner le paysage académique dans les dix années à venir. L'Axe SPI2 du projet, porté par un membre de ComSee, est structuré autour de trois grandes thématiques que sont les "Matériaux et Composants", les "Machines, Robots et Procédés" ainsi que les "Systèmes organisationnels et d'aide à la décision". Il est envisagé sur ce site de prolonger l'effort relatif aux actions de transfert de technologie vers le monde économique notamment par la mise en place de structures de partenariat public/privé telles que la gestion d'une Plateforme d'intégration SPriNG, outil de valorisation et de transfert vers les entreprises et la construction d'une maison de l'innovation au cœur du campus universitaire.

L'équipe ComSee a la volonté de valoriser ses travaux scientifiques avec l'environnement socio-économique régional, mais de la même façon des contrats de prestation ont amené de nouveaux contacts :

- Suite à une activité de recherche (Mesure in-vivo en coloscopie par vision active), soutenue par l'ANR, avec l'entreprise YANSYS une phase de pré-valorisation a été financée par la région Auvergne - OSEO - FEDER (Bourse Innovation 2012 - Fonds Régional d'Innovation 2013) puis retenue par la SAAT Grand Centre pour une phase de pré-maturation en vue d'une phase d'industrialisation.
- Suite à un contrat de collaboration avec l'entreprise Quantel Medical (Génération de mosaïques à partir d'images du fond de l'œil et relocalisation dans une mosaïque pré-générée), une première collaboration recherche est née à travers la mise en place d'un contrat CIFRE.

La thématique scientifique ComSee a participé à la création de plusieurs Startup, par :

- des actions d'incubation : Thierry Arlandis avec la création de la société Mykiatto et Sébastien Goudes avec la création de la société Reoviz ;
- des détachements : Christophe Blanc, maître de conférences a été détaché en 2013-2014 dans la société Wisimage où il a pu participer à la création de la société Wisip et initier des partenariats avec des startups françaises (fittingbox, moodstocks) ;
- des accords de licences de brevets et logiciels.

Cet impact s'explique par une forte volonté de valorisation des résultats de la recherche à travers le dépôt de brevets et de codes APP.

✓ Production

8 rapports techniques : BIORAFALÉ (2014), MICHELIN (2012, 2013, 2014), Technimodul (2014), Logiroad (2014), SFI (2013), Quantel (2013)

✓ Liste des contrats

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	OSEO	BioRafale	P			
	FUI	Vipafleet	P	2013-2017	Mobilité innovante associant une flotte de Véhicule Individuel Public Autonome (VIPA).	IMOB3, LIMOS, Exotic System, Ligier, Michelin En partenariat avec le thème MACCS-ISPR
	FUI	CLEANRobot		2014-s2017	Localisation et guidage multi-capteurs	Innovtec, Eve System, Armines
	IND	MICHELIN		2012-2014	Contrôle non-destructif	confidentiel
	IND	Techni-modul		2014	Contrôle non destructif	confidentiel
	IND	Logiroad		2014	Analyse de trafic routier par vision	
	IND	SFI		2013	Localisation temps réelle pour la réalité augmentée	
	IND	Quantel		2013	Mosaïque d'image du fond de l'œil	

Analyse SWOT

Forces

ComSee a toujours eu un fort rayonnement scientifique national et international. Son niveau de publication est constant par rapport au dernier quadriennal malgré la perte d'un chargé de recherche médaillé de bronze CNRS (Adrien Bartoli). Ce niveau de publication est complété par une importante présence de COMSEE dans les comités de programme et de lecture des principales conférences et journaux du domaine. L'équipe compte deux chercheurs à temps complet (un chargé de recherche HDR et un directeur de recherche). De plus les membres de ComSee sont ou ont été présents dans la période 2010-2015 à des postes de responsabilité : Directeur du Laboratoire, Directeur du LabEx IMobS3, Directeur de l'IUT d'Auvergne, responsable de département d'IUT, Directeur de l'Institut Français de Mécanique Avancée, Délégué Régional à la Recherche et à la Technologie en Auvergne, Présidente du comité national de suivi de la licence. Ces présences conduisent à des forces de proposition dans différentes instances.

ComSee a toujours eu la **volonté** de développer des démonstrateurs "temps réels". Cette conviction et les capacités prouvées nous permettent aujourd'hui d'être impliquées dans de nombreuses actions de valorisations telles que : plusieurs projets FUI en cours, la création de startups ou [la navette autonome EZ10](#).

Faiblesses

Le départ d'Adrien Bartoli (poste de professeur en 2009 au laboratoire ISIT) n'a pas été remplacé, tout comme celui en retraite de Jean-Thierry Lapresté (professeur à l'école de Chimie). Ces deux départs non renouvelés ont pesé de manière très importante sur l'équipe qui a dû réagir en redéfinissant son périmètre scientifique et en abandonnant ses travaux sur l'analyse de scènes déformables.

La provenance des projets collaboratifs indique une faible participation à des projets européens, avec un seul projet (EURIPIDES SeeMoves) auquel ComSee participe.

Certains cadres de la thématique sont impliqués de manière importante dans des postes de management de recherche ou de formation (E. Royer, M. Dhome, J.M. Lavest, N. Lavignote, M. Richetin) ce qui a réduit leur disponibilité pour les travaux de l'équipe.

La thématique vision est mal affichée et peu visible dans l'offre de formation locale (un parcours imagerie dans le Master Informatique), ce qui accentue la difficulté que ComSee rencontre dans le recrutement de doctorants de qualité.

Opportunités

De par sa politique proactive dans les futurs projets structurants (CPER2020, I-SITE, Pôles de compétitivité, LABEX) ComSee devrait accroître son rayonnement et son positionnement dans le paysage local, régional et international. La mise en place, par exemple, d'un laboratoire sans mur des laboratoires Institut Pascal, LIMOS et LAPSCO avec l'entreprise MICHELIN est une opportunité importante pour asseoir de manière pérenne notre collaboration et projeter des recherches à moyen ou long terme croisant de manière dialectique « offre et demande ».

La poursuite des travaux autour de la mobilité innovante, l'arrivée du laboratoire ISIT (donc le retour au sein de l'Institut Pascal d'Adrien Bartoli) et les projets de création de laboratoires sans mur (MICHELIN) sont en parfaite cohérence avec le périmètre applicatif que nous adressons actuellement dans l'équipe. La fusion des 2 Universités Clermontoises avec la remise à plat des Master est une opportunité pour rendre plus visible l'offre de formation en vision par ordinateur.

Risques

La montée en puissance de projets de structuration ne doit pas atténuer notre positionnement sur la scène internationale mais doit plutôt l'asseoir.

ComSee est actuellement soutenue par la région Auvergne à travers plusieurs bourses de thèse et projets de valorisation. Il nous faudra agir pour conserver cette visibilité forte dans la future grande région Rhône-Alpes Auvergne, en concurrence avec les laboratoires lyonnais et grenoblois.

Un nombre important de travaux sont réalisés dans le cadre du LabEx IMobS3. Celui-ci se termine en 2019. Il convient dès maintenant de préparer la suite à travers une structuration globale de site. C'est que qui est en cours à travers le projet I-SITE CAP2025, auquel les membres de ComSee participent de manière active.

Des incertitudes planent sur le remplacement de Nadine Lavignotte après son départ en retraite, alors que celui de Jean-Thierry Lapresté n'est pas intervenu, comme dit plus haut.

1.2.2.2. Thème PERSYST

Personnels

3 PR, 1 MCF-HDR, 1 MCF

Romuald AUFRERE (MCF27, UBP), Pierre BONTON (PR61, UBP, en retraite depuis Jan. 2014), **Roland CHAPUIS** (PR61, UBP), Paul CHECCHIN (MCF61-HDR, UBP), Laurent TRASSOUDAIN (PR61, UBP)

Associé

Jean DELSAUX (MCF18, UDA)

Doctorants

Thèses soutenues (10) : Samuel GIDEL (Bourse ANR LoVE, Oct. 2006 - Avr. 2010), Frank GEROSIER (PRAG, Sept. 2007 - Juin 2012), Pierre DELMAS (Bourse Région/Cemagref, Oct. 2007 - Fév. 2011), Florent MALARTRE (Bourse DGA, Oct. 2007 - Juin 2011), Damien VIVET (Bourse ANR IMPALA, Sept. 2008 - Déc. 2011), Thomas FERAUD (Bourse ANR RINAVEC, Sept. 2008 - Déc. 2011), Nicolas TRONSON (Bourse IFSTTAR, Oct. 2009 - Juil. 2013), Guillaume BRESSON (MESR, Oct. 2010 - Fév. 2014), Laetitia LAMARD (Bourse CIFRE Renault, Fév. 2011 - Juil. 2014), Kamal AIJAZI (Bourse CG Allier, Jan. 2012 - Déc. 2014)

Thèses en cours (8) : Claude AYNAUD (Bourse LabEx IMobS3, Mai 2012), Coralie BERNAY-ANGELETTI (Bourse EquipEx ROBOTEX, Sept. 2012), Aziz DZIRI (Bourse CEA, Oct. 2012), Michai CHIRCA (Bourse CIFRE Renault, Mai 2013), Satoshi FIJIMOTO (Bourse co-tutelle Japon, Avr. 2014), Vijaya GORPADE (Bourse LabEx IMobS3, Sept. 2014), Mohamed TAZIR (Bourse FUI ROMAPE, Sept. 2014), Laurent DELOBEL (Bourse LabEx IMobS3, Sept. 2014)

HDR présentée

Paul CHECCHIN (2012)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Jean LANEURIT (PD, ANR BaudetRob, Sept. 2014 - Mai 2015), Noël MEYRIAUX (I, ANR BaudetRob, Oct. 2013 - Sept. 2014), Guillaume BRESSON (I, EquipEx ROBOTEX, Oct. 2013 - Déc. 2013), Kama AIJAZI (FUI ROMAPE, Jan. 2015 - Août 2017)

Collaborateurs administratifs

Vanessa CHAUDRON (UBP)

Identité scientifique

Les activités du thème PerSyst couvrent les problématiques de la localisation, de la cartographie et de l'interprétation des scènes pour la robotique mobile essentiellement d'extérieur et ce dans un cadre éventuellement multi-sensoriel. PerSyst a pour ambition de développer des approches novatrices pour chacune de ces problématiques tout en les plaçant dans une perspective commune où interprétation, localisation et cartographie sont étroitement liées. Elles s'inscrivent dans un schéma général au sein duquel la carte de l'environnement (statique et dynamique) est l'élément essentiel.

1- **La localisation des robots mobiles** a pour objectif d'estimer la position du robot (ou d'une flotte de robots) dans un référentiel relatif ou absolu afin notamment d'en permettre le contrôle (passif ou actif). Ainsi, selon le cadre applicatif, on pourra être amené à rechercher la position du robot par rapport à son environnement immédiat (carte locale existante, autres robots en situation de convoi, exploration) ou dans le monde (localisation absolue). Pour ce faire, plusieurs problématiques sont investiguées. (1) le SLAM avec des modalités diverses (Lidar, Radar, Caméra) où l'accent est mis sur les approches exploitant des modalités capteur potentiellement originales (comme c'est le cas pour le radar), avec des problématiques de latence ou de non instantanéité d'acquisition mais aussi en exploitant et éventuellement améliorant des cartes existantes. (2) la localisation absolue : en exploitant des systèmes GNSS, des fusions de modalités capteurs extéroceptifs (caméra, lidar) et des cartes. L'originalité est ici l'exploitation explicite de la carte qui dans un processus *top down* permet de guider l'étape de recherche (sélection active des capteurs de perception adéquats à chaque instant). (3) La localisation multi-véhicules (ou véhicule / infrastructure) où l'objectif est de tirer profit de la perception locale de chaque robot (ou de l'infrastructure) pour bâtir une carte dynamique globale non seulement apte à remplir une mission de planification de flotte par exemple, mais aussi à aider la perception au sein de chaque robot.

La carte est ici dans tous les cas l'élément central (qu'elle soit statique ou dynamique) et l'idée principale est qu'elle apporte une aide à la localisation de manière plus ou moins *active* (elle contribue à guider la perception dans l'objectif d'optimisation de la localisation). En retour, la localisation s'appuyant sur la carte a pour objectif son optimisation (en termes d'ajout de données ou de précision de celles-ci). Un des enjeux

majeurs est l'exploitation de cartes existantes publiques (comme celle du projet OpenStreet Map) et qui serait améliorée au fur et à mesure, par exemple lors de l'exploration d'une flotte de robots.

2- L'analyse et l'interprétation des scènes : PerSyst développe également depuis quelques années une activité autour de l'interprétation et de l'analyse multi-sensorielle des scènes, plus particulièrement dans des applications centrées sur la robotique mobile en extérieur. Les objectifs visés portent sur la caractérisation de l'environnement immédiat des robots afin d'assurer la sécurité de son évolution. Ce peut être l'analyse de la traversabilité du terrain (dans le cas de la navigation en monde ouvert par exemple où on cherchera à en réaliser la reconstruction géométrique) ou la détection, reconnaissance et le suivi d'obstacles à des fins d'anticipation ou de partage d'information avec d'autres robots ou avec l'infrastructure (dans le monde routier urbain par exemple). Les travaux les plus couramment menés dans la littérature se concentrent sur des briques de perception et d'interprétation à même de fournir une réponse ciblée, par exemple, à un problème de reconnaissance de piétons en zone urbaine.

Nous pensons que les enjeux applicatifs recherchés en termes de performance ne pourront cependant être approchés que dans l'hypothèse où la scène est analysée de manière plus globale. En effet, les entités de la scène sont souvent interdépendantes (le piéton marche sur un trottoir, et peut être caché par un véhicule) et la reconnaissance de l'une induit la probabilité de présence de l'autre. La difficulté réside ici dans la modélisation de la scène (traduisant cette interdépendance) puis, corollairement dans son interprétation. Aussi nous cherchons à étendre l'approche de perception *top-down* précédemment citée à l'interprétation des scènes nourrie par des modalités capteurs variées, voire issues de points de vue différents (les autres robots et l'infrastructure). Cette approche de formalisme bayésien permettra d'alimenter dynamiquement la cartographie de l'environnement et s'intégrera donc de manière très naturelle dans les approches développées dans le cadre de la localisation.

3- La Cartographie et modélisation pour la compréhension de scènes : la demande du grand public pour des applications informatiques mettant à disposition des modèles urbains 3D réalistes et permettant une analyse de scènes a énormément augmenté au cours des dernières années. Intégrés dans plusieurs navigateurs géographiques, de tels modèles sont accessibles à de nombreux utilisateurs qui s'enthousiasment devant une représentation proche de la réalité, générée à partir des dispositifs de numérisation mobiles terrestres. L'élaboration de modèles 3D concerne aussi les applications allant du jeu et du divertissement à l'analyse des risques lors de l'effondrement des bâtiments au cours de catastrophes. Cette tâche de cartographie est effectuée à différentes échelles : la ville, les bâtiments, les environnements intérieurs ou extérieurs, de simples objets et à l'aide de différents capteurs : caméras, lasers 2D et/ou 3D, etc. Différentes représentations cartographiques sont élaborées : des cartes 3D métriques (intégrant des amers particuliers et combinant points 3D et information couleur parfois), ou des cartes élaborées à partir d'un ensemble d'éléments sémantiques (sols, murs, marches, escaliers, etc..).

Contexte

Les thématiques couvertes par PerSyst sont riches en termes de valorisation.

Sur le volet localisation, et dans l'objectif de la maîtrise des capteurs et de leur modélisation, on notera le projet **FUI E'MOTIVE** (2009 – 2011) : 5 industriels, 6 laboratoires dont le LASMEA) qui vise à développer un simulateur de systèmes de détection pour substituer une vérité « simulée » à une vérité « terrain » lors de la mise au point et de la validation de processus de détection par des capteurs extéroceptifs (caméras, radars, lasers). Ce projet a contribué à la maîtrise de la modélisation notamment des capteurs Lidar et GPS.

Toujours dans le cadre de la modélisation des capteurs, l'action LABEX IMOS3 Défi1 **SIMROB** (2012-2015) traite des outils de simulation robotique, cette dernière action a d'ailleurs contribué à un brevet et à la création de la **Startup 4D-Virtualiz** sur cette thématique.

Les projets **ANR Impala** "Radar panoramique hyperfréquence pour la localisation et la cartographie dynamiques simultanées en environnement extérieur" (ANR PSIRob 2006, CEMAGREF - Thales Optronique SA – LASMEA : 2007 – 2011) et **ANR Rinavec** "Reconnaissance d'Itinéraires et NAVigation en convoi de VEHicules Communicants" (ANR PSIRob 2007, Thales Optronique SA - LAAS – LASMEA : 2007-2012) contribuent à l'expertise de PerSyst en matière de SLAM sous diverses modalités capteurs.

L'**ANR SafePlatoon** aborde la problématique du fonctionnement en convoi de véhicules autonomes. Son caractère novateur réside dans la conception et la mise au point de capacités de fonctionnement en convoi étendues et robustes à des changements de configurations. Ces travaux adressent également la problématique de la sûreté des convois de véhicules autonomes. Set-IP-IRSTEA-DGA-CIVITEC (2011 - 2014).

Dans le cadre du défi 1 du [LabEx IMobS3](#), l'action [LOCFUS](#) (2012-2015) la localisation multi-sensorielle pour les flottes de véhicules. Cette action a conforté les relations de recherche avec l'Université de [Kumamoto au Japon](#) et a donné lieu à une collaboration de recherche avec la société [Khun Audureau](#) (avec IRSTEA: décembre janvier 2014 à août 2015) pour étendre la problématique à un cadre agricole.

Sur le volet analyse et interprétation des scènes, deux thèses CIFRE se sont succédées avec le constructeur Renault sur la thématique de la reconnaissance et pistage d'objets routiers temps réel pour le pré-crash dans un contexte multi-sensoriel et avec gestion des occultations. Une d'elle a donné lieu à un [brevet](#).

L'ANR [Astrid BaudetRob](#) (mars 2012-août 2015, partenaires: IRSTEA, société Effidence) traite du développement d'une mule robotisée à même de reconnaître et de suivre un fantassin selon diverses modalités capteurs. Ce projet donne lieu aujourd'hui à de sérieuses perspectives de développement dans le cadre civil (agricole notamment avec IRSTEA). Par ailleurs, on notera une prestation pour le développement de pistage temps réel multi-modalités dans un univers marin avec la société [Nexeya](#) (prestation 2015 dans le cadre du PEA DGA Varietal).

Sur le volet cartographie 3D, l'ANR "[iSpace&Time](#)" : le SIG 4D de la ville disponible sur le web (ANR CONTINT 2010, IGN - IP - IRISA - LICIT (INRETS/ENTPE) - Telecom Paris Tech - Orange (Lab. SENSE) : 2011-2014). Ce projet a pour objet la mise en place d'un portail démonstrateur d'un Système d'Information Géographique 4D de la ville permettant de répondre à un ensemble de besoins qui vont de la simple visualisation 4D de la ville à des outils d'aide à l'aménagement (carrefours, trottoirs, etc...) en passant par la mise à jour de bases de données cartographiques.

Le projet [FUI ROMAPE](#) (2014-2017: traitement robotisé de surfaces de grandes dimensions ; sociétés partenaires : SAMES, CRIIF, ACRI, ARNO Dunkerque, DCN ; organisme de recherche : Institut Pascal) vise à développer des systèmes robotisés permettant le traitement de surfaces de très grandes dimensions au moyen de Robots Mobiles Autonomes.

L'objet du projet [SAMOUV'3D](#) (Système d'Acquisition de MOUVements de véhicules en 3D : 2014 - 6 mois) est l'étude pour la société Logiroad de la faisabilité d'utiliser un capteur actif 3D du marché (insensible à la luminosité ambiante) pour enrichir les informations présentes dans les images et améliorer les résultats d'estimation du trafic routier et de prévision de ses phases de congestion.

Réalisations

La localisation, la cartographie et l'interprétation des scènes constituent les fondements de l'autonomie des robots mobiles. Sur chacun de ces points, PerSyst a apporté des solutions pertinentes et souvent originales qui, pour l'essentiel, ont donné lieu à des réalisations et démonstrations en grandeur nature attestant de leur crédibilité.

- [Topic1 : Localisation de robots mobiles](#)

[SLAM radar](#) : En milieu extérieur, les conditions rencontrées par un robot mobile sont contraignantes car elles dépendent des conditions climatiques ou de la nature du terrain. Les capteurs classiques (caméras, LiDARs) rencontrent alors des limitations inhérentes à leurs principes physiques. Les potentialités offertes par la technologie radar en robotique mobile, plus adaptée à un fonctionnement en milieu extérieur, méritaient d'être explorées. Un nouveau radar imageur, développé par une équipe du CEMAGREF (IRSTEA aujourd'hui), a permis le développement d'applications de localisation et cartographie simultanées, en environnement "statique" dans le cadre des travaux de thèse de F. Gérossier et dans un monde "dynamique" au cours de ceux de D. Vivet. Cet axe de recherche est véritablement original, très peu de laboratoires au monde ayant investi le domaine du SLAM en s'appuyant sur des données issues d'un radar panoramique hyperfréquence (une seule initiative identifiée au sein de la *School of Electrical and Electronic Engineering, Singapore*). Ce travail a été retenu lors de l'appel d'offre de l'ANR PSIRob 2006 sous l'intitulé : "Impala, Radar panoramique hyperfréquence pour la localisation et la cartographie dynamiques simultanées en environnement extérieur".

[Slam visuel peu dense](#) : Au cours de ces dernières années, PerSyst a développé un processus de SLAM Visuel basé sur les informations fournies par une caméra monochrome et un odomètre embarqué sur un véhicule. Cette méthode exploite un filtre de Kalman étendu et présente la particularité de n'utiliser que très peu de points pour cartographier l'environnement, contrairement aux approches basées sur de l'ajustement de faisceaux. Une phase de rejeu de trajectoire exploitant cette carte peu dense permet au véhicule d'évoluer de façon autonome le long de la trajectoire initialement cartographiée. Compte tenu de ces caractéristiques, cette approche a permis la mise en place d'un convoi de véhicules communicants et le développement d'une approche décentralisée de SLAM multi-véhicules (dans le cadre du projet ANR-

Rinavec) L'intérêt majeur de cette approche est d'une part que la notion de véhicule leader n'est pas figée, ainsi, chaque véhicule peut être leader de la flotte, et d'autre part la très faible bande passante requise pour la communication inter-véhicules.

Localisation absolue par perception multi-sensorielle : L'objectif de ces travaux est de localiser de manière précise et fiable un véhicule dans son environnement en utilisant différents capteurs embarqués et une carte de cet environnement. Cette carte répertorie différents amers géo-localisés (arbres, murs, routes, etc...). Cette approche sélectionne, à chaque instant et selon un critère calculé grâce à un réseau bayésien, le meilleur triplet perceptif (un amer, un détecteur et un capteur) parmi tous ceux disponibles qui conduit le plus rapidement possible à l'objectif initialement fixé. Cette approche très originale de type *top-down*, guidée par un objectif d'optimisation de la précision et de l'intégrité, se distingue des approches classiques *bottom-up* par le fait qu'au lieu de fusionner des informations extraites en bas niveau par l'ensemble des capteurs pour les fusionner ensuite, le système se focalise à chaque instant sur le triplet perceptif qui est le plus prometteur en termes d'objectif. Ceci permet de ne solliciter les capteurs que lorsqu'ils sont pertinents mais aussi celle de focaliser leur zone d'attention en fonction de l'état courant de la localisation. Cela permet d'optimiser de manière optimale le rapport signal à bruit de détection. Cette approche a été validée dans des conditions réelles d'utilisation dans des contextes urbains où une localisation absolue centimétrique est obtenue en temps réel.

- **Topic 2 : Analyse et interprétation des scènes**

Le thème PerSyst est engagé dans l'analyse de scène depuis plusieurs années à travers la détection, la reconnaissance et le suivi des obstacles. Les développements se sont poursuivis avec la thèse CIFRE de Laetitia Lamard en collaboration avec le constructeur Renault dont l'objectif était la fusion de données issues de capteurs dits « intelligents » fournissant des données déjà filtrées (caméra intelligente et radar). L'approche développée, exploitant les dernières techniques de pistage (GM-CPHD) se démarque tout d'abord par le fait qu'elle prend en entrée des données pré-filtrées et donc corrélées statistiquement : cette problématique se retrouve de plus en plus en milieu industriel où les constructeurs et équipementiers assemblent des capteurs intelligents. Par ailleurs, cette approche intègre un module de gestion probabiliste des occultations par les autres pistes en présence et permet même d'adapter les naissances et morts de pistes en fonction de la position du véhicule sur la carte dans le monde.

Dans le cadre des travaux d'analyse de scène en milieux naturels menés en partenariat avec IRSTEA, nous avons cherché à développer des approches permettant la navigation intègre des robots. Pour cela, l'analyse de l'environnement immédiat du robot ne se borne plus uniquement à la détection et au suivi des obstacles mais considère plutôt la zone de traversabilité tenant compte des capacités de franchissement du robot. Ainsi un objet dans la scène peut être considéré comme obstacle selon le type de véhicule, sa position et même sa vitesse. Ainsi, nous avons développé une approche de reconstruction de terrain à bas coût (n'exploitant pas de capteur 3D coûteux) et en temps réel couplant un télémètre laser (une nappe) et une caméra avec un processus SLAM. Associé à ce processus, nous avons cherché à élaborer des stratégies de commande intégrées dans une boucle de perception / action.

- **Topic 3 : Cartographie et modélisation de scènes 3D**

Une activité de recherche en analyse de données tridimensionnelles denses a émergé par l'intermédiaire de la segmentation et la classification automatiques de données 3D acquises par des véhicules numériseurs terrestres. Forts d'une expérience antérieure liée à la thématique de la détection d'obstacles et de piétons pour les véhicules intelligents à l'aide de capteurs multi-sensoriels notamment 3D, nous avons réorienté cette activité pour aborder la problématique de la cartographie automatique urbaine à partir de points 3D issus de relevés lasers terrestres.

L'extraction automatique (ou partiellement supervisée) d'importantes structures urbaines telles que les routes, la végétation et les bâtiments à partir de ces données 3D est une approche intéressante pour la modélisation 3D des villes. L'utilisation d'un Lidar embarqué sur un véhicule terrestre permet d'obtenir des données denses au plus près des paysages urbains, à la différence de solutions aéroportées. Le travail entrepris en collaboration avec le laboratoire MATIS de l'IGN dans le cadre du projet ANR iSpace&Time s'est intéressé à l'étude des problèmes de détection des changements dans des zones cartographiées pour la mise à jour et l'enrichissement de cartes 3D. En effet, le développement concomitant des systèmes d'acquisition 3D denses et des cartes numériques 2D a conduit à enrichir les secondes avec les données issues des premiers. La question de la production de cartes 3D denses ne faisant apparaître que la partie immobilière des villes, notamment, s'est donc posée. Ce sujet a été abordé sous l'angle du multi-passage afin de tirer parti de la multiplicité des situations et d'extraire les parties statiques de la scène.

Les travaux menés dans ce cadre ont aussi conduit à plusieurs contributions ayant enrichi l'état de l'art : (1) une méthode de classification de l'environnement urbain fondée sur la segmentation des nuages de points 3D en utilisant une approche par super-voxels, suivie par la caractérisation des nuages de points 3D urbains en utilisant une nouvelle technique d'appariement de points ; (2) un procédé de gestion des occultations en exploitant le concept de passages multiples ; (3) une nouvelle méthode pour la détection automatique de changement et la mise à jour incrémentale de nuages de points 3D urbains en éliminant les différentes imperfections ; (4) la détection et l'estimation de manière automatique des paramètres des fenêtres pour affiner l'analyse des façades des bâtiments en exploitant des correspondances symétriques et temporelles.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques	
#18	Mobile ground-based radar sensor for localization and mapping in outdoor environment
#19	Sparse EKF visual SLAM for outdoor applications
#20	Real-time multi-sensor absolute localization of a mobile robot based on a Bayesian network
#21	Automatic 3D urban cartography

Projets collaboratifs académiques

PerSyst a été impliqué dans plusieurs projets de valorisation essentiellement scientifiques (de type ANR) sur toutes ses thématiques. Une partie importante de ces projets a été réalisée en partenariat avec IRSTEA de par la complémentarité des compétences. Aujourd'hui, cette politique de valorisation se trouve amplifiée par les sorties de projets tels que BaudetRob, SafePlatoon ou autre, et les sollicitations industrielles sont aujourd'hui nombreuses.

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR PSYROB	IMPALA	P	2007-2011	Radar panoramique hyperfréquence pour la localisation et la cartographie dynamiques simultanées en environnement extérieur.
	ANR PSYROB	RINAVEC	P	2008-2011	Reconnaissance d'Itinéraires et NAvigation en convoi de Véhicules Communicants.
	ANR CONTINT	iSpace&Time	P	2011-2014	iSpace&Time : le SIG 4D de la ville sur le web. Vers une convergence des technologies de cartographie, grille de capteurs, réalité immersive, d'animation et de simulation <i>En partenariat avec le thème ComSEE d'ISPR.</i>
	ANR ASTRID	BaudetRob	C	2011-2015	Mule robotique pour les applications militaires.
	ANR VTT	SAFEPLATOON	P	2011-2014	Sureté des convois de véhicules autonomes. <i>En partenariat avec tous les autres thèmes d'ISPR.</i>
	LabEx IMobS3	LOCFUS	C	2012-2015	Localisation décentralisée précise et fiable de véhicules communicants par approche de fusion multi-sensorielle.
	LabEx IMobS3	SIMROB	P	2012-2015	Outils de Simulation pour la robotique mobile.
	Chaire d'excellence Région Auvergne	ReForm	C	2011-2014	Flottes reconfigurables de véhicules et de machines autonomes en environnement dynamique et incertain. <i>En partenariat avec le thème MACCS de l'Axe ISPR.</i>
Internationaux	Corée du Sud	BRI	C	2009-2014	Transports intelligents en milieu urbain. <i>En partenariat avec tous les autres thèmes d'ISPR.</i>

A ce tableau, il convient d'ajouter l'implication dans les PIA tels que l'Equipex ROBOTEX (dont un membre de Persyst est porteur de la thématiques RobMOB - robotique mobile) et le Labex IMobS3- défi 1 au travers de trois actions scientifiques.

Production scientifique

✓ *Communications écrites*

- 12 ACL-Int : IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems (2), Sensors (1), Remote Sensing (2), International Journal of RemoteSensing (1), International Journal of Advanced Robotic Systems (1), EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (1), Traitement du Signal (2)
- 3 OS : Chapitres de livre (2)
- 33 ACTI : IV(7), FUSION(5), ICARCV(2), FSR(1), IROS(1), ICPR(1), ICRA(1).
- 15 ACTN : RFIA(6), ORASIS(2), RJCIA(1), CETSIS(4)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
ACL-Int.	2		1	7	1	1	12
ACL-Nat.	1		1				2
Chap. OS	1				2		3
ACTI	5	3	5	12	7	1	33
ACTN	4	3	3	2	3		15

✓ *Communications orales*

1 INV : Chaire d'Excellence Mines ParisTech - PSA Peugeot Citroën "Robotique et Réalité Virtuelle" (2013).
Intitulé de la présentation : Cartographie d'environnement extérieur avec un radar panoramique.

✓ *Rapports scientifiques*

Rapports des projets ANR BaudetRob et SafePlatoon.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ *Invitations et attractivité internationales*

Professeurs invités :

- - R. ZLOT du CSIRO's Autonomous Systems Laboratory, Computational Informatics (mars 2014).
- - Zhencheg HU, ITS Laboratory, Université de Kumamoto, 1 mois par an, années 2013 et 2014.

✓ *Conventions bilatérales*

Convention bilatérale Université Blaise-Pascal / Université de Kumamoto (Japon) en 2013.

✓ *Prix et Distinctions*

- Best Student PaperAward - Third Place - IEEE ITSC 2013 (16th IEEE Inter. Conf. on Intelligent Transportation Systems). Seuls travaux primés dans la catégorie "Sensing, Perception and Vision". [C-ACTI-1]
- Best Poster Award Laser Scanning 2013 (Laser Scanning 2013 ISPRS Workshop). [W-ACTI-1]
- Prix du meilleur article RFIA 2012 (18e congrès sur la Reconnaissance des Formes et l'Intelligence Artificielle). [C-ACTN-1]

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

- Comité de programme de l'European Conference on Mobile Robotics (ECMR 2015, Lincoln, UK, Sep 2-4 2015, ECMR 2013, Barcelona, Spain, Sep 25-27 2013).
- Organisation d'une "Special Session on UrbanSceneAnalysis: interpretation, mapping and modeling: USA 2014" 3e Int. Conf. on Pattern Recognition, Applications and Methods (ICPRAM 2014, Angers, 6 au 8 mars 2014) - <http://www.icpram.org/USA.aspx>

✓ *Expertises*

Outre les sollicitations en tant que relecteurs d'articles dans les conférences ou journaux internationaux, les membres de PerSyst ont été rapporteurs de 5 projets ANR et deux membres de PerSyst ont fait partie du comité de sélection ANR VTT. Par ailleurs, les membres de PerSyst ont été rapporteurs de 33 thèses et de 4 HDR.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

PerSyst a à cœur de transférer son avoir faire de manière assez systématique. Une grande partie de ces actions est faite en partenariat avec le centre IRSTEA de Clermont-Ferrand avec lequel nous partageons des

recherches au travers de co-encadrement de thèses, de projets institutionnels (ANR, DGA) ou industriels, de matériels issus d'achats communs (notamment les plates-formes robotiques).

✓ *Brevets*

- - Plateforme de simulation pour la validation d'une architecture logicielle et matérielle d'un robot - Brevet 13731106.4-1807, 2015 : Delmas, P.; Malartre F., Chapuis R. & Debain, C.
- - Système de tracking d'objets routiers hétérogènes robuste aux occultations - Brevet PJ 12-0897 2012, Laetitia Lamard and Jean-Philippe Boyer and Roland Chapuis.

✓ *Liste des contrats*

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	FUI	ROMAPE	P	2014-2017	Traitement robotisé de surfaces de grandes dimensions.	SAMES, CRIIF, ACRI, ARNO
	IND	SAMOUV3D	C	2014	Système d'acquisition de mouvements de véhicules en 3D.	LOGIROAD
	IND	NEXEYA	C	2015	Tracking d'objets en milieu maritime.	Consortium PEA VARILETAL
	IND	KHUN Audureau	P	2015	Localisation et contrôle de robot.	IRSTEA

Analyse SWOT

Forces

Le thème PerSyst a su faire émerger des approches originales ayant pour application la robotique mobile essentiellement, que ce soit en matière de localisation ou de cartographie en ayant à chaque fois pour ambition d'aller le plus loin possible en termes d'expérimentations réelles. Pour cette raison, le thème connaît une excellente implication contractuelle et partenariale (essentiellement académique) et un grand nombre de sollicitations industrielles.

Par ailleurs, deux entreprises ont été créées (une en 2009 : Effidence, l'autre en 2015 : 4D-virtualiz) par des doctorants du thème, ce qui traduit une bonne adéquation entre les recherches produites et les besoins du marché.

Les chercheurs du thème sont aussi impliqués à divers titres dans des actions de rayonnement scientifique comme l'organisation de workShop, le portage d'actions de recherche au titre du LABEX IMBOS3, la responsabilité de la thématique Robotique Mobile dans des projets régionaux (actions V2I du projet CPER Innovapole) ou nationaux (action RobMob du projet PIA Equipex Robotex), l'animation du GT2 véhicule Terrestres du GDR Robotique et l'obtention de prix et distinctions diverses, les nombreuses sollicitations en tant que rapporteurs de thèses ou relecteurs d'articles.

Faiblesses

La contrepartie du développement d'approches originales qui mêlent potentiellement plusieurs champs disciplinaires est la difficulté potentielle de publier au plus haut niveau dans des journaux internationaux. Par ailleurs, le terme s'appuie sur quatre enseignants chercheurs aujourd'hui, dont deux responsables de spécialités d'enseignement en écoles d'ingénieurs.

La volonté du thème de maintenir une recherche de bon niveau, démontrée sur des plates-formes expérimentales réelles, est un choix stratégique mais coûteux, lui aussi, en investissement.

Opportunités

Dans le cadre du LabEx IMobS3 un chercheur de PerSyst a noué des collaborations récemment avec le centre de robotique de CMU (Carnegie Melon University). L'accueil de ce chercheur sera fait au printemps 2016, suivi normalement par un séjour de deux à trois mois d'un doctorant de PerSyst sur la thématique de la localisation absolue *topDown* sur carte existante.

Par ailleurs, les prochaines opportunités de projets tels que le laboratoire sans mur Michelin, le projet I-SITE ainsi que les prochains projets CPER sont autant de rendez-vous auquel PerSyst participera activement.

Risques

Les sollicitations partenariales nombreuses dans le thème peuvent présenter un risque. La nécessité de maintenir une activité collaborative pour l'obtention des budgets nécessaires aux démonstrations expérimentales notamment, mais aussi au financement de personnels (stagiaires, ingénieurs, doctorants) représente une monopolisation des ressources humaines dans le thème. Il s'agira de trouver un compromis entre valorisation et maintien d'activité de recherche plus fondamentale. Il en va de même en ce qui concerne l'implication des personnels dans le cadre de l'accompagnement à la création d'entreprise.

1.2.2.3. Thème MACCS

Personnels

1 PR, 1 MCF-HDR, 4 MCF

Lounis ADOUANE (MCF61-HDR, UBP), Juan Antonio CORRALES RAMON (MCF61, IFMA), Sébastien LENGAGNE (MCF61, UBP), **Youcef MEZOUAR** (PR61, IFMA), Jean-Charles QUINTON (MCF61, UBP), Benoit THUILOT (MCF61, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (10 dont 1 commune Axe MMS/MMSI) : Ahmed BENZERROUK (MESR, Oct. 2007 - Avr. 2011), Christophe CARIOU (Ingénieur permanent Irstea, Sept. 1997 - Avr. 2012), Mehdi MOUAD (Bourse Luxembourg, Oct. 2008 - Jan. 2014), Erol OZGUR (Bourse ANR VIRAGO, Nov. 2008 - Juil. 2012), Aurélien YEREMOU (Bourse co-tutelle Cameroun, Avr. 2009 - Juin 2013), Hermanth KORROPATI (Bourse ANR CityVIP R-Discover, Oct. 2009 - Juin 2013), Guillaume LOZENGUEZ (Bourse ANR R-Discover, Oct. 2009 - Déc. 2012), Mathieu RICHIER (Bourse CCMSA, Oct. 2010 - Déc. 2013), **Kevin SUBRIN (MMS/MMSI)** (Bourse CPER Innov@Pôle, Oct. 2010 - Déc. 2013), Denis DIEUMET (Bourse ANR ACTISURTT, Oct. 2011 - Avr. 2015)

Thèses en cours (11) : Uzer FERRIT (Bourse BRI Corée du Sud co-tutelle, Mai 2011), Suhyeon GIM (Bourse BRI Corée du Sud co-tutelle, Sept. 2011), José Miguel VICA VENTURA (Bourse ANR SafePlatoon, Oct. 2011), Boris QUETARD (Bourse LabEx IMobS3 Action PEVMA, Avr. 2012), Hichri BASEM (Bourse LabEx IMobS3 Action RobDyn, Mai 2012), Jean-Baptiste BRACONNIER (Bourse LabEx IMobS3 Action CoroDyn3, Sept. 2012), Audrey GUILLET (Bourse EquipEx ROBOTEX, Oct. 2012), Léo LOPEZ (MESR, Oct. 2013), Ange NIZARD (Bourse FUI VIPAFLEET, Oct. 2013), Rustem ABDRAKHMANO (Bourse Ademe, Nov. 2014), Mathieu DEREMETZ (Bourse ANR AdAP2E, Oct. 2014)

HDR présentée

Lounis ADOUANE (Juillet 2015)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Jonathan COURBON (PD, ANR ARMEN, Jan. 2011 - Sept. 2012), Erol OZGUR (PD, EquipEx ROBOTEX, Sept. 2012 - Déc. 2014), Rosario ARAGUES (PD, LabEx IMobS3 Action AVOMNI, Mai 2012 - Déc. 2013), Hemanth KORROPATI (PD, LabEx IMobS3 Action AVOMNI, Juin 2014 - Mai 2015), Omar TAHRI (PD, EquipEx ROBOTEX, Jan. 2015 - Juil. 2015), Bastien LAURENT (I, EquipEx ROBOTEX, Sept. 2012 - Oct. 2014)

Collaborateurs administratifs

Eliane DE DEA (UBP)

Identité scientifique

L'objectif du thème scientifique MACCS est la maîtrise de la complexité dans les systèmes robotiques, que celle-ci soit introduite par les capteurs utilisés, les spécificités de la structure mécanique du système, les incertitudes liées à l'environnement, ou encore la nature des tâches à effectuer. Le cœur scientifique de MACCS s'appuie essentiellement sur des activités de modélisation, perception et commande de ces systèmes robotiques complexes afin d'augmenter leur autonomie et leur adaptabilité aux tâches à réaliser en fonction des environnements statiques et/ou dynamiques rencontrés.

La thématique scientifique MACCS se décline en 2 activités :

- **Activité AV (Autonomous Vehicle)**

Les problématiques adressées dans cette activité relèvent de la commande de véhicules, et plus généralement celle des robots mobiles, dans des cas de figure complexes. Plus précisément, deux types de complexité sont envisagés. D'une part, le cas où le comportement dynamique du système robotique ne peut être parfaitement connu, en raison de la multiplicité des phénomènes susceptibles d'affecter le système et/ou leur variabilité dans le temps. Cette première activité, dénommée ci-après **Commande de systèmes à dynamique incertaine**, a été développée dans le contexte de la robotique mobile en milieu tout-terrain, où c'est bien sûr l'interaction du robot avec le terrain d'évolution qui amène la dynamique incertaine. C'est un domaine très actif dans la communauté Robotique internationale, que ce soit pour des applications agricoles, militaires, humanitaires, spatiales, ... Les méthodologies originales que nous proposons pour adresser ce type de complexité ne sont toutefois pas spécifiques à ces applications, elles pourraient être adaptées et portées sur d'autres classes de systèmes robotiques présentant une dynamique incertaine. D'autre part, le cas où plusieurs systèmes robotiques mobiles doivent agir de façon coordonnée. Deux approches ont été explorées pour cette seconde activité, dénommée ci-après **Commande des systèmes multi-robots** : tout d'abord, une approche décentralisée (i.e. chaque entité mobile détermine elle-même son évolution) mais globale (i.e. chaque entité a accès à l'état complet du système multi-robot,

transmis par des communications ad hoc, e.g. WiFi), ensuite, une approche locale basée sur le concept de cibles dynamiques virtuelles dont la spécificité réside sur l'exploitation conjointe des avantages des architectures de contrôle dites **comportementales** (qualifiées de plutôt réactives) à ceux des architectures délibératives qui s'appuient sur une modélisation plus rigoureuse des entités robotiques pour commander des systèmes multi-robots. Enfin, pour assurer une complète autonomie des systèmes robotiques, il peut être nécessaire devant des situations inattendues de changer en-ligne la stratégie de commande. Pour garantir une commutation douce et la stabilité de la tâche, une dernière activité, dénommée ci-après **Systèmes hybrides** est également développée. AV a su s'affirmer au plan international sur la maîtrise des dynamiques incertaines pour le guidage de précision de véhicules en milieux naturels et pour la navigation en formation de véhicules urbains de véhicules, aussi bien en contexte urbain que tout-terrain.

Acteurs : L. Adouane, B. Thuilot, Y. Mezouar

Thèses : C. Cariou, A. Benzerrouk, M. Mouad, H. Korrapati, G. Lozenguez, M. Richier, D. Denis, F. Uzer, S. Gim, J. M. Vilca Ventura, J. P. Braconnier, A. Guillet, A. Nizard, M. Deremetz, R. Abdрахmanov, B. Hichri

Post Doc : R. Aragues, J. Courbon

Projets : ANR ACTISURTT, ANR CityVip, ANR R-Discover, BRI Corée du Sud, FUI Vipa, FUI VIPAFleet, ANR-SafePlatoon, ANR-AdAP2E, LABEX IMOBS3-AVOMNI, LABEX IMOBS3-CoRoDyn3, EQUIPEX ROBOTEX ROBMOB, PIA ADEME BUSINOVA

- **Activité MLPC (Modeling, Learning and Perception for Control)**

Les actions développées dans cette activité gravitent autour des notions de modélisation, d'apprentissage et de commande référencés capteurs. Notre conviction est en effet que des tâches robotiques complexes (navigation, positionnement dans un monde faiblement modélisé, saisie et manipulation d'objets) peuvent être traitées de manière cohérente et innovante en utilisant le plus directement possible les informations capteurs. Notre objectif peut être résumé comme suit : **proposer des stratégies de perception, d'apprentissage et de commande permettant à des robots de réaliser une tâche donnée de façon autonome**. Il s'agit en particulier de modéliser et d'interpréter les informations fournies en temps réel par des capteurs pour permettre une interaction efficace du robot avec l'environnement. Nous avons ainsi abordé cette vaste problématique avec comme fils conducteurs la commande référencée capteurs, les stratégies d'apprentissage non-supervisé et de sélection attentionnelle basées essentiellement sur des informations extéroceptives. Même si nous avons considéré le cas des capteurs d'effort, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux capteurs visuels. En pratique, l'utilisation de capteurs extéroceptifs permet un élargissement important du domaine d'application de la robotique, et une amélioration significative des performances des systèmes robotiques plongés dans des environnements non contrôlés et faiblement modélisés. Nous nous intéressons plus particulièrement aux tâches de positionnement de robots manipulateurs, de préhension, de manipulation et aux tâches de navigation pour les robots mobiles. Cette activité se positionne au meilleur niveau vis-à-vis de la concurrence internationale. Aujourd'hui, elle est très bien reconnue, par exemple pour ses résultats en asservissement visuel et en navigation par mémoire sensorielle.

Acteurs : S. Lengagne, J.C. Quinton, J.A. Corrales Ramon, Y. Mezouar

Thèses : H. Korrapati, F. Uzer, E. Ozgur, A. Yeremou, K. Subrin, B. Quetard, L. Lopez

Post Doc : R. Aragues, J. Courbon, H. Korrapati, O. Tahri, E. Ozgur

Projets : ANR-Virago, ANR-ARMS, ANR-Cogiro, ANR-ARMEN, LABEX IMOBS3-AVOMNI, LABEX IMOBS3-ROBDYN, LABEX IMOBS3-PEVMA, EQUIPEX ROBOTEX-DEXTROB, BRI Corée du Sud

Le thème MACCS a invariablement affiché la volonté d'éprouver systématiquement ses développements sur des démonstrateurs. Cela l'a amené :

- à intervenir sur un très grand nombre de plates-formes, soit externes au laboratoire (RobuCabs, RobuCarTT, RobuFast, tracteur agricole, quad, vendangeuse), soit directement maintenues par l'IP (plates-formes robotiques AFMA, Quattro, bi-bras Kuka - ADEPT et plates-formes de robotique mobile Pioneer et Khepera, Cycabs, VIPALAB, VIPA, EZ-10), avec un investissement important des acteurs du thème.
- D'être force de proposition dans le projet national d'équipement d'excellence (EQUIPEX) ROBOTEX porté par le CNRS. Nous participons aux développements de deux de ces volets : le volet robotique mobile (ROBMOB) et le volet robotique de production (ROBPROD – responsable de l'action robotique droite - DEXTROB).

Contexte

Les activités de recherche de MACCS sont clairement identifiées dans la communauté scientifique robotique.

Localement, le thème MACCS a été particulièrement moteur dans le développement de l'axe transverse Machines et Robots Intelligent et Innovants (MR2I) de l'Institut Pascal. Cette action est centrée sur une approche transdisciplinaire regroupant principalement les axes MMS et ISPR, et qui a pour objectif de développer des machines, robots, véhicules et systèmes automatisés hautement performants fondés sur l'innovation scientifique et technologique, dans les domaines de la mécanique, de la perception, l'automatique et la maîtrise du comportement réel de ces systèmes. Nos activités de recherche s'inscrivent naturellement dans le LabEx IMobS3 (Innovative Mobility : Smart and Sustainable Solutions) dans le cadre du défi 1 : Véhicules et Machines Intelligents. A ce titre, MACCS est impliqué dans plusieurs actions collaboratives avec l'axe MMS, l'IRSTEA, le CEREMA et le LAPSCO. MACCS est également activement impliqué dans le projet ROBOTEX (Equipement d'Excellence), porté par le CNRS, qui vise à la structuration des plateformes robotiques françaises. Le thème MACCS est impacté par ce projet sur les thématiques de la robotique mobile (ROBMOB) et manufacturière (RobPROD).

Au niveau régional, les travaux de MACCS s'intègrent naturellement dans la Stratégie de Spécialisation Intelligente S3 de la région Auvergne en particulier dans le domaine d'innovation stratégiques "Systèmes Intelligents et performants" (DIS5). Ils s'inscrivent également dans une relation étroite avec les le pôle de compétitivité Viaméca.

Au niveau national et international, le thème MACCS joue un rôle important (chef de projet Adjoint, membre du comité de pilotage, membre du comité d'orientation stratégique, et membre de la cellule de gouvernance) dans le développement de l'Unité Mixte de Technologie « UMT08.2 Mécanisation/robotisation dans les filières viandes et produits carnés » créée le 15 octobre 2008 et prolongée en 2014 sous l'intitulé Mecarnéo (partenaires ADIV, CEA, Institut, Pascal). Nous participons ou avons participé à de nombreux projets collaboratifs nationaux (ANR, FUI) et internationaux (PHC, EUREKA, EUROCC). Nous menons des actions d'animation scientifique au niveau national (Responsable du GT2-VT du GDR robotique) et au niveau international (organisation régulière de workshops dans les meilleures conférences du domaine de la robotique). Nous accueillons de nombreux chercheurs étrangers (USA, Corée du Sud, Australie, Allemagne, Grande-Bretagne, Italie, Espagne, Portugal, Roumanie, Algérie, Tunisie, Cameroun). Nous avons porté la Chaire d'Excellence Internationale (financement région) accordée au Professeur Helder Araujo (2011-2014). Nos relations avec des laboratoires étrangers ont été amplifiées ces dernières années en particulier de par notre implication forte dans le LabEx IMobS3.

Nos travaux font l'objet de publications dans les revues (IEEE-TRO, Autonomous Robots, Fields Robotics, Robotic and Autonomous Systems ...) et conférences (IROS, ICRA,...) majeures de nos domaines d'expertise. Ces publications au meilleur niveau attestent que nos travaux (AV et MLPC) ont su s'affirmer au plan national et international. Ces dernières années plusieurs contributions appréciées par la communauté internationale ont été apportées. **Concernant AV**, on peut noter (1) le développement de nouvelles stratégies de navigation sûre et flexible en milieu urbain pour un ou plusieurs véhicules, (2) le développement de stratégies de commande d'un ou plusieurs robots mobiles en milieu naturel efficaces dans le cas de dynamiques incertaines, (3) le développement de stratégies référencées capteurs pour l'exploration et la navigation de systèmes multi-robots (possiblement terre – air). **Concernant MLPC**, nous avons proposé de nouvelles méthodes dans les domaines de la commande référencée capteurs (vision et vision/force), du calcul de pose basé vision, et développé des modèles de perception/action avec des applications de positionnement et de manipulation non-préhensive par des robots mobiles et des robots manipulateurs.

Réalisations

Ces cinq dernières années plusieurs contributions appréciées par la communauté internationale ont été apportées dans les actions AV et MLPC. Elles s'appuient essentiellement sur des activités de modélisation pour la perception et la commande des systèmes robotiques. La suite de cette section présente successivement nos principales réalisations (AV puis MLPC). Elle décrit finalement une action commune AV-MLPC sur le sujet de l'exploration et la navigation par vision des systèmes mono et multi-robots.

- **Action AV**

Nous présentons nos principaux résultats en deux volets regroupant notre développement en environnement tout-terrain et urbain.

Commande de véhicules en milieu tout-terrain. Sur cette thématique, nous avons adopté une approche incrémentale : nous adressons des configurations progressivement plus complexes ou plus sévères en étendant les modèles d'évolution proposés pour les véhicules, de façon que les phénomènes dynamiques devenant prépondérants puissent être représentés, mais avec toujours le souci que la structure de ces modèles permette en premier lieu de bâtir des observateurs pour accéder à toutes les variables d'état à

partir d'un jeu de capteurs de coût raisonnable, et ensuite de développer des lois de commande alimentées par les variables d'état mesurées et observées pour assurer une évolution précise et sûre de ces véhicules en dépit des conditions de sol difficiles.

Sur le quinquennal précédent, nous avons proposé des observateurs et lois de commande basés sur des modèles cinématiques étendus de véhicules pour réaliser des suivis de trajectoire précis en dépit des glissements pour des vitesses allant jusqu'à 15 km.h-1, puis nous avons considéré des modèles dynamiques partiels pour pouvoir continuer de garantir la précision de guidage en milieu tout-terrain à des vitesses allant jusqu'à 30 km.h-1. Enfin, un modèle dynamique partiel en roulis avait été proposé pour évaluer et prédire sur un court horizon un risque de renversement latéral de véhicules légers de type quad.

Sur ce quinquennat, nous avons poursuivi nos efforts sur trois axes :

Nous avons continué nos développements sur la prévention du risque de renversement. Tout d'abord, sur le cas du quad, nous avons introduit un modèle dynamique partiel en tangage de façon à pouvoir anticiper également le risque de renversement longitudinal (i.e. cabrage), nous avons proposé des observateurs permettant d'évaluer en temps-réel les pentes latérale et longitudinale sur lesquelles évolue le véhicule à partir d'informations renvoyées par un accéléromètre, enfin nous avons développé un système haptique qui durcit la poignée du quad, et donc contraint le pilote à ralentir, lorsque nos indicateurs identifient un risque imminent de renversement. Nous avons ensuite prolongé ces travaux pour adresser le cas des véhicules reconfigurables. Nous avons envisagé le cas d'un tracteur vendangeur, particulièrement sujet aux renversements du fait de son haut centre de gravité. La difficulté ici est que 2 paramètres-clés de nos modèles, à savoir la hauteur du centre de gravité et la masse du véhicule sont variable du fait du dispositif de correction d'assiette et du remplissage du réceptacle à récolte. Nous avons développé des observateurs pour estimer ces 2 grandeurs à partir des informations parcellaires des vérins hydrauliques (i.e. quand ils ne sont pas en butée ou en action) de façon à pouvoir prédire avec précision les risques de renversement.

Nous avons également continué à développer nos actions sur la commande à haute-vitesse. Tout d'abord, nous avons proposé des observateurs pour identifier séparément les conditions de contact avant et arrière, de façon à pouvoir identifier en temps-réel le comportement sous-vireur / survireur du véhicule et donc le risque de tête-à-queue. Ensuite, en exploitant nos modèles dynamiques partiels alimentés en temps-réel par les observateurs de conditions d'adhérence, nous avons pu développer au moyen de techniques de commande prédictive des lois de modulation de la vitesse pour garantir que sur un horizon glissant l'actionneur de direction ne sera pas amené en saturation (ce qui entraînerait une perte de contrôle sur le véhicule) et que le véhicule ne sortira pas du couloir de navigation qui lui a été assigné (ce qui mettrait à encore sa sécurité en jeu).

Enfin nous avons étendu les lois de commande décentralisées globales développées initialement pour le déplacement en convoi de véhicules urbains pour désormais guider en formation des véhicules en milieu tout-terrain. De façon à éviter l'accumulation d'erreurs d'asservissement, les véhicules (qui communiquent par liaison sans-fil) sont toujours asservis sur une trajectoire de référence unique, fournie au préalable ou créée en ligne par le véhicule de tête, mais avec désormais des consignes latérale et longitudinale possiblement non-nulles (de façon à définir une formation) et possiblement variables (s'il est nécessaire de faire évoluer la forme géométrique de la formation). Pour améliorer la stabilité de l'ensemble, les véhicules utilisent désormais les informations du leader, du précédent, mais aussi de leur immédiat suiveur. Enfin, les observateurs de conditions d'adhérence et les capacités dynamiques possiblement hétérogènes des véhicules ont été incorporés aux lois de commande.

Commande de véhicules en milieu urbain. Sur ce quinquennal, nos développements dans le domaine sur la commande de véhicules en milieu urbain ont porté sur trois volets :

- **Technique sûre et flexible d'évitement d'obstacles basée sur des cycles-limites.** L'évitement d'obstacle est l'une des briques élémentaires les plus importantes pour réaliser une navigation autonome de robots mobiles en milieu encombré. Des techniques d'évitement d'obstacles basées sur les cycles-limites sont développées au niveau du laboratoire depuis plus de 6 ans. Elles permettent d'éviter autant des obstacles statiques que dynamiques avec une robustesse au bruit très satisfaisante. Plusieurs expérimentations avec des Khepera voire des VipaLAB (en configuration mono-robot comme multi-robots) ont été réalisées démontrant la robustesse des techniques développées.
- **Navigation flexible de véhicules autonomes basée sur des points de passages.** Il a été investigué au niveau du laboratoire une nouvelle approche de navigation autonome de véhicules qui s'appuient uniquement sur des points de passages, préalablement positionnés dans l'environnement. Cette technique en plus de permettre une navigation sûre du robot, permet également une plus grande flexibilité de navigation. En effet, le fait de s'appuyer sur des points de passages pour commander le robot, au lieu d'une trajectoire fixe, permet au robot de réaliser des

manœuvres locales (pour éviter un obstacle par exemple) tout en maintenant une stabilité globale. Afin de briser la complexité des tâches à réaliser par les robots et de garantir le maximum de sécurité et de robustesse. Des architectures multi-contrôleurs hybrides (continu / discret) ont été développées. Plusieurs expérimentations sur des VipaLAB ont démontré la robustesse des méthodes de navigation et de planification multi-critères développés.

- **Navigation en formation de véhicules autonomes en milieu encombré et contraint.** La navigation en formation de robots mobiles a été adressée dans MACCS en utilisant des approches basées sur des structures cibles virtuelles et des approches Leader Follower. Ces deux types de techniques utilisent des architectures multi-contrôleurs hybrides (continu / discret) [REF] qui leur confèrent une plus grande flexibilité pour notamment assurer la reconfiguration dynamique de la formation (changer la disposition géométrique des robots d'une manière sûre et stable).
- **Action MLPC**

L'activité principale de MLPC est la recherche de nouveaux modèles et de nouvelles stratégies afin d'effectuer la commande de systèmes complexes. Les modèles, les plus pertinents en fonction de la tâche à effectuer, sont élaborés en fonction des capacités de perception extéroceptive disponibles. D'un point de vue stratégies, les idées développées portent principalement sur la modélisation des informations perceptuelles et des interactions entre les mécanismes et leurs environnements à des fins de prises de décision. Durant le dernier quinquennal, on peut noter six réalisations remarquables :

- **Algorithmes de saillance pour le (pré)traitement de l'information visuelle.** En vision par ordinateur, la saillance visuelle correspond à un ensemble d'algorithmes neuro-inspirés et/ou à même de reproduire les capacités réactives du système attentionnel humain (sélection d'informations pertinentes). Dans un contexte routier et pour des applications d'assistance ou de navigation autonome, une large gamme de modèles ont été évalués, et un nouveau détecteur/descripteur SAILMAP basé sur le modèle VOCUS a également été proposé pour permettre une localisation efficace basée saillance.
- **Modèles de prises de décision perceptuelle dynamique appliqués en vision active.** Un fort couplage perception/action et l'introduction de représentations prédictives distribuées au cœur des mécanismes de prise de décisions perceptives permet de catégoriser plus rapidement (bifurcation dans le système dynamique modélisé), en focalisant les traitements sur les éléments perceptifs les plus informatifs. Les résultats simulés via les mécanismes bio-inspirés adoptés reproduisent les capacités et dynamiques observées chez l'humain et le singe, tout en étant robustes à l'incertitude dans les modèles (construits par apprentissage) et dans les capteurs/effecteurs (variabilité).
- **Etude des stratégies perceptives pour la prise de décision chez l'humain.** Réalisées en partenariat avec le DLCF Cerema et le Lapsco, des études de psychologie expérimentale permettent l'enregistrement et l'analyse des actions épistémiques (e.g. mouvements de yeux) ou pragmatiques (e.g. mouvements de la main à la souris) des humains lorsqu'ils doivent réagir ou catégoriser des stimuli sous contrainte temporelle forte (e.g. présence d'un piéton sur la route). Les études se sont en particulier focalisées sur l'interaction entre la qualité de l'information (bruit, brouillard, ambiguïté...) et divers a priori cognitifs : congruence contextuelle, congruence spatiale, biais de cognition sociale.
- **Méthodes de filtrage spatiotemporel distribuées.** Ces méthodes probabilistes (bayésiennes ou fondées sur les champs neuronaux dynamiques) intègrent un modèle d'évolution approximé du système (e.g. modèle direct de la dynamique du robot, dans l'espace opérationnel ou articulaire) et visent à améliorer les performances des algorithmes de navigation/planification, avec application à différentes domaines : la robotique mobile autonome, la génération de mouvement avec nombreux degrés de liberté (multi-cibles et multi-effecteurs), et la détection et le suivi d'objets en mouvement rapide.
- **Modélisation et commande basées vision des systèmes redondants.** Ces travaux de recherche, portent sur deux problématiques : (1) l'étude de l'ajout de redondances pour l'amélioration du comportement cinématique et dynamique des robots à structure parallèle et sérielle, (2) l'étude des systèmes multi-bras pour des tâches de manipulation complexes. Les thématiques de recherche concernent essentiellement les deux points suivants : tout d'abord la formulation, l'analyse et l'optimisation de la réalisation par un système redondant de tâches complexes, ensuite la modélisation des systèmes et la commande référencée capteurs. Les travaux que nous avons menés portent sur la mise en place d'une méthodologie permettant l'exploitation des redondances cinématiques pour améliorer la précision d'une plateforme robotique et sur la manipulation bi-bras non-préhensive par vision. Les stratégies proposées ne nécessitent pas l'étalonnage des systèmes de perception.
- **Nouvelles stratégies de commande et de calcul de pose basées vision.** Après avoir proposé des techniques d'asservissement visuel et de calcul de pose basées sur des informations visuelles simples (points, droites), nous avons étudié le cas de primitives basées moments. Nous avons en

particulier introduit un nouveau type de primitives visuelles (« shifted moments ») qui a permis une avancée significative de l'état de l'art en asservissement visuel. Nos méthodes ont été développées en utilisant des modèles suffisamment génériques pour englober une classe entière de capteurs de vision. Plus précisément, elles permettent de traiter de manière indifférente les caméras catadioptriques centrale, sphérique et perspective ainsi qu'une grande partie des capteurs de vision avec optique fish-eye. Les résultats théoriques ont été validés par de nombreuses expérimentations sur des plateformes robotiques.

- **Action AV et MLPC**

Comme évoqué précédemment, des travaux portant sur l'**exploration et la navigation par vision des systèmes mono et multi-robots** ont été menés conjointement dans les actions AV et MLPC. Ils s'inscrivent dans la continuité des résultats obtenus lors du précédent quadriennal dans le domaine de la navigation référencée capteurs.

La quasi-totalité des stratégies de navigation autonome se base sur l'analyse des signaux capteurs afin de construire une carte globale ou locale de l'environnement. Cette carte est en général référencée dans le monde 3D et est plus ou moins précise selon les types de capteur utilisés et l'effort algorithmique associé. Lors du dernier quadriennal, il a été proposé de construire une carte qui ne soit pas référencée dans le monde 3D, mais plutôt directement dans l'espace des capteurs. Le principal intérêt de cette approche est la conservation d'une image fidèle de l'environnement en omettant la reconstruction 3D d'un monde virtuel (soumis à propagation d'erreurs). Des commandes référencées capteurs peuvent alors être mises en œuvre pour contrôler précisément les mouvements du robot. Nous nous sommes intéressés au problème difficile de détection de fermeture de boucle pour lequel plusieurs solutions ont été apportées et nous avons développé des nouvelles stratégies de commande efficaces pour la navigation dans des cartes topologiques. Nous avons également obtenus des résultats très prometteurs dans le cadre de la commande d'une flotte de robots observée par des capteurs de vision (portés par exemple par véhicules aériens autonomes). Nous avons traité le cas de la mise en configuration de la flotte de robots et montré la stabilité des lois de commande proposées. Nous avons également proposé des stratégies de construction de cartes de l'environnement par des systèmes multi-robots sous la contrainte de communication limitée. Nous avons proposé des algorithmes complètement distribués et montré leurs convergences asymptotiques.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#22	Control of off-road mobile robots
#23	Stable and flexible multi-controller architecture based waypoints for autonomous vehicle's navigation in cluttered environment
#24	Fast hierarchical topological mapping using monodirectional images
#25	Formation control of mobile robots using multiple cameras
#26	Anticipatory representations and dynamic model selection for active perception

Projets collaboratifs académiques

Durant ce quinquennal, nous avons eu une politique volontariste (appuyée par le LABEX IMOB53) afin de pérenniser et faire émerger des collaborations internationales à travers des cotutelles de thèse, des co-encadrements postdoctoraux, des publications croisées et projets collaboratifs. Au niveau international, nos collaborations les plus actives sont entretenues avec :

- Institute of Robotics and Autonomous Systems - Université de Saragosse, Espagne (Post-doc commun et visites croisées – LABEX)
- Institute of Systems and Robotics - Université de Coimbra, Portugal (Chaire d'Excellence, PHC et LABEX, visites croisées)
- Intelligent System Research Institute (ISRI) -- SungKyunKwan University (SKKU), Corée du Sud (2 thèses en cours, projet Franco-Coréen Lab. sans mur BRI, visites croisées)
- Centre for Cyberphysical Systems School of Aerospace, Transport and Manufacturing (SATM), Cranfield University, Grande Bretagne (séjour de 4 mois L. Adouane, visites croisées, LABEX)
- Université de Douala, Cameroun (thèse en co-tutelle, visites croisées)
- Institute of Cognitive sciences and Technologies, CNR, Rome, Italie (thèse en cotutelle, visites croisées, LABEX)
- Institute of Neuroinformatics, University Rhur – Bochum, Allemagne (visites croisées, LABEX).

Au niveau national, nous avons maintenu une participation forte à des projets collaboratifs (le tableau suivant donne une vue synthétique de ceux-ci). Cela nous a permis de maintenir ou de mettre en place

des collaborations avec un certain nombre de laboratoires en France (IRISA-LAGADIC, GREYC, LIMSI, IRCCYN, MIS, XLIM, LSIS, LIP6, SET, UTMB, IRSTEA) ainsi qu'avec des partenaires industriels (CLAAS, DASSAULT Aviation, THALES, ADIV, CLEMSY, ECA, ALDEBARAN, 4DVIRTUALIZ, SAFRA, MICHELIN, LIGIER).

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	
Nationaux	ANR VTT	CityVIP	C	2008-2011	Déplacement sûr de véhicules individuels adaptés à l'environnement urbain. En partenariat avec les thèmes DREAM et ComSEE de l'Axe ISPR.	
	ANR JCJC	Virago	C	2007-2011	Nouvelles perspectives en robotique grâce à la vision rapide à acquisition séquentielle. En partenariat avec les thèmes DREAM et ComSEE de l'Axe ISPR.	
	ANR Arpège	Cogiro	P	2009-2012	Réseau de caméras pour la robotique à câbles. En partenariat avec les thèmes ComSEE et DREAM de l'Axe ISPR.	
	ANR Arpège	ARMS	C	2011-2014	Système Multi-bras pour la séparation de muscles. En partenariat avec les thèmes DREAM et ComSEE de l'Axe ISPR.	
	ANR	FAST	P	2008-2011	Fast autonomous rover system.	
	EMERGENCE ANR CONTINT	R-Discover	P	2009-2013	Réseaux de robots mobiles - couverture décentralisée de l'espace basé vision omnidirectionnelle.	
	ANR VTT	SAFEPLATOON	P	2011-2014	Sureté des convois de véhicules autonomes. En partenariat avec tous les autres thèmes de l'Axe ISPR.	
	ANR TESCOAN	ARMEN	P	2010-2013	Assistant robotique pour le maintien en environnement naturel.	
	ANR ARPEGE	PROTEUS	P	2010-2018	Plateforme pour la robotique organisant les transferts entre utilisateurs et scientifiques.	
	ANR VTT	ActiSurTT	P	2011-2013	Dispositifs actifs pour la sécurité des véhicules en environnement tout terrain.	
	PEPS CNRS	M ² DyCS	C	2014-2015	Mesures et Modélisation dynamiques de la Cognition Sociale.	
	LabEx IMobS3	AVOMNI	C	2012-2015	Asservissement visuel et vision omnidirectionnelle : application aux systèmes multi-robots.	
	LabEx IMobS3	PEVMA	P	2012-2015	Perception visuelle et anticipation motrice dans les systèmes de traitement de l'information biologiques et artificiels.	
	LabEx IMobS3	ROBDYN	P	2012-2015	Vers la maîtrise du comportement des systèmes ROBotiques sous fortes sollicitations DYNamiques.	
	LabEx IMobS3	CoRoDyn3	P	2012-2015	Gestion de la traversabilité dynamique pour la commande relative et le maintien d'intégrité de robots mobiles.	
	Chaire d'excellence Région Auvergne	ReForm	C	2011-2014	Flottes reconfigurables de véhicules et de machines autonomes en environnement dynamique et incertain En partenariat avec le thème PERSYST de l'Axe ISPR.	
	Projet Région	Vipa	P	2008-2011	Véhicule Individuel Public Autonome. En partenariat avec les thèmes PERSYST et ComSEE de l'Axe ISPR.	
	Internationaux	Eureka	SEAMOVE	P	2010-2013	Sensor Enabling Autonomous Motion by Optimized Visual Environment. En partenariat avec les thèmes DREAM et ComSEE de l'Axe ISPR.

	Corée du Sud	BRI	C	2009-2014	Transports intelligents en milieu urbain. En partenariat avec tous les autres thèmes de l'Axe ISPR.
	PHC PESOA	GU-AV	C	2011-2012	Asservissement visuel en vision omnidirectionnelle.

Production scientifique

✓ *Communications écrites*

IEEE Transactions on Robotics (3), IEEE Systems, Man and Cybernetics - Part B (3), IEEE Robotics and Automation Magazine, Autonomous Robots (2), Robotics and Autonomous Systems (5), International Journal of Robotic Research, Mechanism and Machine Theory (2), Meccanica, Automatica, Neural Networks, Control Engineering Practice (2), Journal of Field Robotics, Industrial robots (2), Advanced Robotics, Journal of Intelligent and Robotic Systems, BioMedical Engineering and Research.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ *Invitations et attractivité internationales*

Les personnels du thème MACCS ont donné 16 conférences ou séminaires invités. Le thème a accueilli 8 personnalités étrangères (séjours d'au moins un mois pour un total de 21 mois) sur contrats de séjours invité du LabEx IMobS3 ou de la Chaire d'excellence Région Auvergne ReForm (Coimbra, Saragosse, Rome, Bochum, New-york, Cranfield). Les personnels de MACCS ont été invités sur des séjours à l'Université de Kingston, l'Université de Cranfield, l'Université de Bochum, l'ISTC/CNR Rome, l'Université de Saragosse, l'Université de Coimbra, l'Université d'Alicante, l'Université Columbia, l'Université Yale. 4 thèses en cotutelle sont codirigées par des personnels du thème.

✓ *Prix et Distinctions*

Best paper In 12th International Conference on Intelligent Autonomous System, (IAS'12), pages: 29-41. Jeju Island - Korea, 26-29th June. Finaliste Best Paper Award International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems, DARS 2014. Daejeon - Korea, 2-5 November.

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Editeur invité pour la revue Robotics and Autonomous Systems ; Editeurs associés des conférences internationales ICRA'15, IROS'15, VEHITS'2015.

Comité de programme de ECMR'15, ISI'11-13-15, ORASIS'15 ; Comité de programme de 7 workshops internationaux en conjonction avec RSS'13-14-15 et IROS'11-12-14-15 ; Comité d'organisation (co-organisateur) de 4 workshops en conjonction avec IROS'11-12-14-15 ; Comité d'organisation de Robotics'10 ; Responsable GT2 VT – GDR Robotique (jusqu'en Déc. 2014) ; Comité scientifique JNRR 2015.

✓ *Expertises*

Les personnels du thème MACCS sont invités régulièrement à réaliser des expertises scientifiques : ANR, MESR, FNRS (Belgique), ANEP (Espagne), Programme Européen...

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Le thème MACCS s'inscrit dans la philosophie de l'axe ISPR de transférer quasi-systématiquement ses développements en situation réelle sur des plateformes robotiques mobiles ou manufacturières.

Cette volonté de transfert de nos savoirs faire s'est concrétisé par la création en 2008 de l'UMT08.2 (Unité mixte de technologie) et prolongée en 2014 sous l'intitulé Mecarnéo (partenaires ADIV, CEA, Institut, Pascal) dans laquelle nous jouons un rôle moteur (membre du comité de pilotage, responsable de la recherche appliquée). Celle-ci se concrétise également par une adéquation forte de nos thématiques de recherche avec l'axe Systèmes Intelligents et Robotique du pôle de compétitivité VIAMECA et avec la stratégie de spécialisation intelligente (S3) de la région Auvergne dans les domaines stratégiques "robotique mobile et systèmes de production pour la compétitivité de l'appareil productif" et "systèmes de production agricole pour des produits durables". Dans ce contexte, nous avons des actions de valorisations de nos travaux dans des projets collaboratifs stratégiques pour nos partenaires industriels (par exemple dans le cadre du PIA BUSINOVA).

La volonté de MACCS d'interagir avec l'environnement socio-économique s'est également concrétisée par la mobilité de deux de ces membres dans la manufacture Michelin (en 2012 et en 2015).

✓ *Production*

4 BRE : Algorithme de localisation et de commande d'un véhicule par fusion de données issues de la vision binoculaire et des capteurs proprioceptifs (2010) - Algorithme de navigation d'un véhicule par mémoire visuelle (2011) - Procédé de réduction du risque de basculement d'un véhicule automoteur équipé d'un système de suspension pilotable (2014) - Logiciel de reconstruction, localisation et guidage précis des mobiles par système de vision à champ non recouvrant (2014).

✓ *Liste des contrats*

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	FUI	Vipafleet	P	2013-2017	Mobilité innovante associant une flotte de Véhicule Individuel Public Autonome (VIPA).	IMobS3, LIMOS, Exotic System, Ligier, Michelin <i>En partenariat avec le thème ComSEE de l'Axe ISPR.</i>
	PIA ADEME	BUSINOVA	P	2014-2017	Contrôle/commande Intelligent pour l'optimisation (hard switch ou fusion de trois modes d'actionnement (thermique, électrique et hydraulique).	IMobS3, SAFRA, ACTIA, EDF, PHIMECA, Eeverpole, Dufournier Technologies
	FUI	Vipa	P	2008-2011	Véhicule Individuel Public Autonome.	IP, Ligier, Apogee
	FUI	SRDViand	P	2007-2011	Systèmes Robotisés de Découpe de Viande.	IP, ADIV, Kaufler, Couedic-Madoré, Durand International, Norman, MCM, Normaclass <i>En partenariat avec le thème DREAM de l'Axe ISPR.</i>

Analyse SWOT

Forces

Les activités de recherche de MACCS sont clairement identifiées dans la communauté scientifique nationale et internationale robotique. Les compétences du thème sont unanimement reconnues comme en témoigne la participation de ses membres aux comités de programme, éditoriaux, de lectures de conférences et revues majeures du domaine, à l'expertise de dossiers scientifiques, aux rapports de travaux doctoraux (jurys de thèse, examinateurs, rapporteurs,...). Elle joue un rôle actif dans l'animation de la communauté scientifique (GDR Robotique, organisation de workshops et de sessions invitées dans des colloques internationaux, organisation et participation à des écoles d'été, accueil de chercheurs étrangers). MACCS bénéficie également d'une offre de formation locale en bonne adéquation avec ses domaines d'expertises : Masters Robotique (Resp. Y. Mezouar) et Mécatronique (Resp. B. Thuilot), Ecoles d'ingénieur (IFMA-Pôle Machines, Mécanismes et Systèmes, Resp. Y. Mezouar). Le thème MACCS a connu sur le quinquennal 10-15 un essor particulièrement remarquable malgré le départ de deux membres très actifs (N. Andreff et P. Martinet) :

- **Augmentation de l'activité de publications** : 39 revues internationales à comité de lecture (11 sur le quadriennal précédent).
- **Participation importante à des projets** : participation à 10 projets ANR, 1 PEPS, 3 projets FUI et 1 PIA ADEME, 3 projets internationaux, 1 chaire d'Excellence, 3 projets LabEx IMobS3, projet EquipEx ROBOTEX, S3.

- **Pérennisation et émergence de collaborations internationales (cotutelles, publications croisées, projets collaboratifs, chaire d'excellence) :** ISRC-Sung Kykwan Univ., Corée du Sud ; ISR Université de Coimbra, Portugal ; Lab RPTR-Univ. de Saragosse, Espagne ; Institute of Cognitive sciences and Technologies, CNR, Rome, Italie ; Cranfield University, Grande Bretagne ; University of New-York, USA.
- **Pérennisation de collaborations nationales (publications croisées) :** CEA, LIMSI, LE2I, INRIA-Lagadic, GREYC, SET, LIP6, IRCCYN, IRSTEA.
- **Développement du rayonnement scientifique :** co-animation du GT2 du GDR Robotique, animation administrative et scientifique de l'UMT 08.2 puis de MECAERNO, implication accrue dans les comités de programme, organisation de workshops et de sessions invitées, séjours de longue durée à l'étranger, accueils de chercheurs invités, chaire d'excellence internationale.
- **Développement de relations avec le tissu socio-économique :** mobilité partielle Michelin de deux membres de MACCS, participation à des projets FUI et PIA.
- **Accueil de trois Maitres de Conférences (depuis 2011) :** Juan-Antonio Corrales Ramon (01/09/2014 - IFMA), Sébastien Lengagne (01/09/2013 - UBP), Jean-Charles Quinton (04/04/2011 - UBP).

Faiblesses

Les recherches de MACCS sont aujourd'hui entièrement portées par des enseignants-chercheurs (5 MCF et 1 Pr), très fortement impliqués dans la vie pédagogique de l'établissement universitaire et des écoles d'ingénieurs. Les départs de N. Andreff (promotion Pr. Université Franche-Comté) et P. Martinet (Pr. Ecoles Centrale de Nantes), membres très actifs de MACCS, ont fragilisé les développements de certaines actions de recherche de la thématique MACCS. Cette difficulté ne pourra être surmontée que par une politique volontariste en faveur du recrutement de chargé de recherche CNRS dans l'équipe MACCS.

Opportunités

Les projets de structuration de site (I-SITE, CPER2015-2020, LabEx, EquipEx, Laboratoire sans mur Michelin) constituent des opportunités majeures pour le développement du thème MACCS sur ses deux activités principales AV et MLPC. En bonne adéquation avec nos thématiques de recherche, ils devraient nous permettre de pérenniser nos actions de recherche sur le moyen terme et faire émerger de nouvelles perspectives sur le moyen-long terme. Le projet de rapprochement avec nos collègues du laboratoire ISIT ouvre également des opportunités dans nos domaines de compétences (guidage autonome, commande référencée capteurs, interaction homme-robot) pour des applicatives médicales.

Enfin le recrutement durant ce quinquennal, de trois nouveaux MCF (2011, 2013 et 2014) est une opportunité certaine de développement de nos activités de recherche.

Risques

Les projets de structuration au niveau du site et de la région risquent d'être très sollicitant pour les membres de MACCS. Il s'agira d'être vigilant pour que notre implication (et en particulier celle des trois nouveaux MCF) dans ces projets ne nuise pas à notre visibilité nationale et internationale.

1.2.2.4. Thème DREAM

Personnels

2 PR, 1 MCF-HDR, 1 MCF

François BERRY (MCF61-HDR, UBP), Jean-Pierre DERUTIN (PR61, UBP), Alexis LANDRAULT (MCF61, UBP), Jocelyn SEROT (PR61, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (9) : Jérémie MOSNIER (Bourse Région, Oct. 2007 - Déc. 2011), Loïc SIELER (MESR, Oct. 2008 - Déc. 2011), Nicolas ROUDELE (Bourse CEA Région, Mai 2009 - Avr. 2012), Sameer AHMED (Bourse Pakistanaise, Oct. 2008 - Déc. 2012), Hanen CHENINI (Projet Seemoves, Jan. 2010 - Mai 2014), Frantz PELISSIER (Projet Seemoves, Sept. 2010 - Juin 2014), Samuel DELEPLANQUE (Bourse CPER Innov@Pôle, Oct. 2010 - Juin 2014), Mohamed Amine BOUSSADI (MESR, Oct. 2011 - Fév. 2015), Merwan BIREM (Projet Seemoves, Sept. 2011 - Mars 2015)

Thèses en cours (4) : Emerson OLAYA (Bourse ANR ARMS, Avr. 2011), Cédric BOURRASET (Bourse LabEx IMobS3 Action RECIPAS, Mai 2012), Lucas MAGGIANI (Bourse LabEx IMobS3 Action HyPOP/Co-tutelle Italie CNIT, Oct. 2013), Mehdi SAADANA (Bourse tunisienne en co-tutelle, Oct. 2014)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Nicolas ROUDEL (IE, Bourse Innovation Région, Sept. 2012 - Sept. 2013), Jérémie MOSNIER (PD, ANR Fish Parasit, Sept. 2012 - Mai 2014), Richard VANDAELE (IE UBP et CNRS puis Prestataire, Sept. 2006 - Mai 2012), Thierry TIXIER (IE Seamoves, Sept. 2011 - Mai 2013), Sébastien CAUX (IE LabEx IMobS3, Sept. 2014 - Juin 2015), Mohamed Amine BOUSSADI (Post-Doc EquipEx ROBOTEX, Mars 2015 - Août 2015)

Identité scientifique

Les applications de robotique nécessitent des systèmes de perception intégrés disposant des fonctions de calcul implantées au plus près des capteurs. Ces fonctions de calcul peuvent permettre par exemple de mettre en œuvre des approches de perception focalisée sur des régions d'intérêt dynamiques, de vision active, de détection et de suivi d'objets dans les scènes ou bien encore de localisation par vision. Elles doivent par conséquent répondre à des contraintes spatiales, temporelles et énergétiques fortes.

De tels systèmes impliquent l'étude d'architectures dédiées - implantées en général sur une technologie de type FPGA ou SoPC. La programmation de ces architectures réclame des compétences très spécifiques (maîtrise d'un langage de description de matériel (HDL), notamment). Il est donc indispensable de concevoir et de développer conjointement des méthodes et des outils permettant leur exploitation par le plus grand nombre. C'est autour de ces pôles, matériel d'une part, logiciel d'autre part, que s'organise l'activité de thème DREAM.

Les thématiques scientifiques du thème DREAM sont centrées sur la conception et la mise en œuvre d'architectures matérielles et logicielles pour les systèmes de perception embarqués. Un trait marquant de cette activité consiste en l'association étroite d'une thématique centrée sur la conception et l'intégration de d'architectures matérielles et d'une thématique logicielle centrée sur la définition et le développement de langages et de méthodologies de programmation permettant d'exploiter ces architectures de la manière la plus transparente et la plus efficace possible.

Les principaux résultats sur ces quatre dernières années sont :

- sur les aspects "matériel" : le développement d'un prototype de caméra industrialisable (qui a notamment débouché sur la création de la spin-off WISIP) et la réalisation d'un circuit ASIC en technologie CMOS 65 nm de chez STMicroelectronics dans le cadre de recherches sur les approches Multi-Cœurs.
- sur les aspects « logiciel », l'arrivée à maturité du langage CAPH, dédié à la synthèse haut niveau d'applications sur FPGAs permet désormais l'implantation d'applications de complexité réaliste.

DREAM se place donc comme un acteur majeur de la recherche sur les systèmes de vision embarqués à travers une triple compétence : la conception de *smart cameras* à base de FPGA d'une part, la conception de circuits dédiés au traitement d'images d'autre part, et le développement d'outils de synthèse haut niveau sur de tels circuits enfin.

Les perspectives du thème DREAM s'inscrivent par ailleurs globalement dans les thématiques associées aux réseaux de capteurs intelligents au sens large. La mise en œuvre de tels réseaux suppose en effet la conception et la programmation de nœuds associant de manière étroite et efficace perception et calcul. Le volet calcul est notamment traité par l'équipe « Multi-Cœurs » (lancement de la fabrication d'un « run » de circuit intégré intégrant 16 puis 64 processeurs en technologie 28 nm). L'intégration des aspects calcul et perception sein de smart cameras qui fonde les approches dites IoT (Internet of Things) recoupe aussi parfaitement les recherches menées par l'équipe, tant au niveau des architectures matérielles (reconfiguration matérielle *in situ*) que des outils logiciels pour programmer ces caméras et, plus généralement spécifier et déployer des applications dans ce contexte, et seront au cœur des activités de DREAM.

En termes de dissémination scientifique, hormis plus d'une vingtaine de publications en journaux et conférences internationales, il est à souligner la création de deux workshops internationaux (Scabot et WASC) ainsi que l'édition de deux *Special Issues* de journaux de rang A.

Contexte

Les activités de recherche de DREAM sont clairement identifiées dans la communauté scientifique nationale et internationale des architectures matérielles et logicielles pour la vision artificielle. Les compétences du thème sont unanimement reconnues comme en témoigne la participation de ses membres aux comités de programme, éditoriaux, des conférences et revues majeures du domaine, à l'expertise de dossiers scientifiques (ANR, projets européens, ...), aux rapports de travaux doctoraux (jurys de thèse, examinateurs, rapporteurs, ...) et à la précédente évaluation AERES de laboratoire.

Elle joue un rôle actif dans l'animation de la communauté scientifique (organisation de workshops et de sessions invitées dans des colloques internationaux, organisation et participation à des écoles d'été). Il faut noter une ouverture à l'international en constante progression en particulier grâce au support du LABEX IMOBS3.

Du point de vue collaboration, l'équipe DREAM a collaboré avec plusieurs entreprises telles que Thalès, E2V, ALTERA, plusieurs laboratoires universitaires nationaux et européens : LE2I de l'université de Bourgogne, GIPSA Lab de Grenoble, LRI de l'université de PARIS XI, LIRMM de l'université de Montpellier et d'un point de vue international : CNIT de l'université de Pise, CMSC de Séville, INAOE de Mexico, Université Heriot-Watt d'Édimbourg, Intelligent Systems Research Center de Sungkyunkwan University (SKKU) (Corée du Sud) et Equipe SAGE de l'ENISO de l'université de Sousse (TN).

Sur le plan local, le thème DREAM a créé l'entreprise innovante WISIP afin de réaliser le transfert de son savoir-faire sur les smart caméras. Cette entreprise est portée par 2 docteurs de DREAM et a reçu la confiance d'un investisseur pour plus de 300k€. WISIP a été lancée sous la forme d'une SAS en avril 2014.

Réalisations

Les principaux résultats sur ces quatre dernières années peuvent être scindés en deux points :

- Sur le volet matériel, un premier fait marquant est le développement d'un prototype de caméra intelligente complètement industrialisable. Cette caméra a d'ailleurs été choisie par la société américaine ALTERA (leader mondial en composant FPGA) comme plateforme de test et a été présentée au Consumer Electronics Show de Los Angeles en Janvier 2014. Un second fait marquant concerne la réalisation du premier circuit ASIC en technologie CMOS 65 nm de STMicroelectronics. Ce circuit complètement opérationnel a permis de valider un nœud élémentaire qui sera la brique de base de futurs circuits multi-cœurs (constitués de 16 et 64 processeurs) pour la vision artificielle en qui ont été conçus en technologie ST micro CMOS FD-SOI 28nm.
- Sur le volet logiciel, le langage CAPH se place comme une alternative efficace à de nombreux logiciels de synthèse haut niveau (HLS). CAPH est distribué sous licence GPL et a prouvé son efficacité sur des applications complexes (Compression, Extraction de points de type Harris et Stephen, SVM, HOG). Confronté à des applications concrètes, il continue d'évoluer, démontrant au passage l'intérêt d'une synergie trop peu exploitée à ce jour entre les communautés traitant de la théorie des langages d'un côté et de la conception de circuits pour l'embarqué de l'autre.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques	
#27	Hardware architecture of smart camera
#28	SCANET: conjunction of IoT (Internet of Things) and distributed smart camera
#29	Design and fabrication of many-core ASIC solutions dedicated to embedded smart camera
#30	CAPH: a domain specific language for implementing stream-processing applications on reconfigurable FPGA-based hardware

Projets collaboratifs académiques

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR VTT	CityVIP	C	2008-2011	Déplacement sûr de véhicules individuels adaptés à l'environnement urbain. <i>En partenariat avec les thèmes MACCS et ComSEE de l'Axe ISPR.</i>
	ANR JCJC	Virago	C	2007-2011	Nouvelles perspectives en robotique grâce à la vision rapide à acquisition séquentielle. <i>En partenariat avec les thèmes MACCS et ComSEE d'ISPR.</i>
	ANR Arpège	Cogiro	P	2009-2012	Réseau de caméras pour la robotique à câbles. <i>En partenariat avec les thèmes MACCS et ComSEE d'ISPR.</i>
	ANR Arpège	ARMS	C	2010-2014	Capteurs intelligents pour l'aide à la séparation de muscles. <i>En partenariat avec les thèmes ComSEE et MACCS d'ISPR.</i>
	ANR ALIA	Fish-Parasit	P	2010-2013	Détection et analyse de parasités dans l'agro-alimentaire.
	ANR VTT	SAFEPLATOON	P	2011-2014	Sureté des convois de véhicules autonomes. <i>En partenariat avec les tous autres thèmes d'ISPR.</i>
	LabEx IMobS3	RECIPAS	C	2012-2015	Réseau de capteurs intelligents pour l'autonomie et la sécurité de la mobilité.
Internationaux	Eureka	SEAMOVE	P	2010-2014	Capteur neuromorphique pour la vision panoramique en vue du guidage de véhicules. <i>En partenariat avec les thèmes MACCS et ComSEE d'ISPR.</i>
	Corée du Sud	BRI	C	2009-2014	Transports intelligents en milieu urbain. <i>En partenariat avec tous les autres thèmes d'ISPR.</i>

Production scientifique

✓ Communications écrites

- 7 ACL : J. of Systems Architecture, J. of Real-Time Image Processing, Advances in Signal Processing...
- 4 OS : Chapitres de livre (4)
- 32 ACTI : IEEE SPHSC (2), VISAPP (2), IROS (2), DATE (1)

✓ Logiciels, ressources, bases de données

Le langage CAPH : caph.univ-bpclermont.fr - Licence GPL.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

- Collaboration avec l'université de Pise (Scuola Santa Anna) et le CNIT (Consorzio nazionale interuniversitario per le telecomunicazioni). Cette collaboration a débouché sur une co-tutelle de

thèse franco-italienne, un échange d'étudiants en PostDoc ainsi que sur une utilisation conjointe de notre dernier modèle de smart caméra (DreamCam) pour différents projets.

- Mise en place d'une collaboration avec l'équipe de recherche émergente SAGE de l'ENISO-Université de Sousse (TN) sur le thème «Caméras Intelligentes. Invitations bilatérales sur une période d'une semaine annuelle, Co-crédation et participation au Workshop « La mobilité » (2013 et 2014), Accueil d'étudiants et de stagiaires Master 2 en France Thèse en cotutelle de Mohamed Mehdid Saadana. Convention bilatérale entre universités.

✓ *Prix et Distinctions*

- Excellent Paper Award IEEE/ACM ICDSC 2013 C. Bourasset, J.Serot, F. Berry. "FPGA-based Smart Camera Mote for Pervasive Wireless Network". PalmSpring, USA.
- Best PhD forum Award IEEE/ACM ICDSC 2011 F. Pellisier, F. Berry. "BiSeeMos: a Fast Embedded Stereo Smart Camera". Gent, Belgium.

✓ *Comités scientifiques et Comités d'organisation*

- Workshop Européen WASC : Workshop on Architecture of Smart Cameras. WASC12 -Clermont-Fd, WASC13 - Seville (Espagne), WASC14 Pise (Italie), WASC15 Santiago del compostela (Espagne).
- Workshop international ScaBot : Workshop Smart Camera for Robotic Applications en collaboration – en conjonction avec IEEE IROS 2012 - Vilamora.
- IEEE/ACM Int. Conf. on Distributed Smart Camera 2011, 2015.
- Special Session Architecture of Smart Camera dans Int IEEE/ACM ICDSC201.
- Numéro special "Architecture of Smart Cameras" dans Elsevier - Journal of System and Architecture Novembre 2013, F.Berry, R. Kleihorst et R. Carmona.
- <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13837621/59/10/part/PA>
- Numéro special Architectures of Smart Cameras for Real-Time Applications Springer - Journal of Real-Time Image Processing" 2014, F.Berry, R. Kleihorst, R. Carmona et D. Ginhac.
- http://static.springer.com/sgw/documents/51404130/application/pdf/CFP_Special_Issue_on+Architectures+of+Smart+Cameras+for+Real-Time+Applications.pdf

✓ *Expertises*

Participation aux expertises du Crédit Impôt Recherche depuis 2012
 Participation aux expertises des AAP ANR VTT puis TDM ; Blanc, Jeunes Chercheurs
 Participation à l'expertise AERES de deux laboratoires
 Membre du CART (Comité Auvergne pour la Recherche et l'Innovation)

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

- Création de la Startup WISIP. Cette société est née des recherches et développements matériels faits au sein de DREAM. Elle a pour but de transférer nos développements et de créer de nouveaux concepts en termes de "smart cameras". WISIP a été lancée en mars 2014 sous la forme juridique SAS au capital de 50ke avec un investisseur privé.
- Tournage d'un film de valorisation de l'équipe par la maison Innovergne permettant la promotion du thème DREAM (<https://www.youtube.com/watch?v=vlOn6xCh3ns>).

Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
FUI	SRDVland	P	2007-2011	Systèmes Robotisés de Découpe de Viande.	IP, ADIV, Kaufler, Couedic-Madoré, Durand International, Norman, MCM, Normaclass En partenariat avec le thème MACCS de l'Axe ISPR.

Analyse SWOT

Forces

- Complémentarité des compétences matérielles et logicielles allant de la production d'environnement de prototypage rapide d'applications sur caméras intelligentes jusqu'à la conception d'ASIC spécifiques au Traitement d'Image.

- Opportunités à l'interface de domaines scientifiques de l'Axe ISPR (travaux communs d'implantations d'algorithmes des trois autres thèmes).
- Conception et réalisations de plateformes matérielles et logicielles (DREAMCAM, CAPH et CubeGEN) et mises à dispositions pour plusieurs partenaires internationaux (Pise, Mexico, Sousse).
- Action LABEX IMobS3 RECI PAS "Réseau de caméras intelligentes" impliquant un fort partenariat européen pour un financement de 220k€ (trois tentatives de réponse à AAP H2020 et une tentative ANR en 2014).
- Mise en place d'un réseau international concrétisé par la création d'un workshop international et de nombreux invités bilatéraux.

Faiblesses

- Aucun chercheur CNRS.
- Aucun personnel technique du laboratoire affecté à DREAM (même à temps partiel au thème) permettant d'assurer la pérennité de l'activité.
- Pas de recrutement MCF lors des 10 dernières années.

Opportunités

- Nombreuses sollicitations scientifiques et industrielles (2 ANR 2015, 4 ANR, 1 Eureka Euripides et 4 H2020 entre 2010 et 2015).
- Maître de conférences associé de l'INSA Rennes pour une éventuelle mutation.
- Concours CNRS pour recrutement de CR CNRS.
- Les opportunités et le marché de l'embarqué, des manycores et des objets connectés vont en augmentant.

Risques

- Disparition de l'activité sans un soutien clair des tutelles et du laboratoire (une bonne reconnaissance internationale et pas de support technique pour une activité chronophage en développements matérielles et logicielles, politique de gel de l'UBP et départ en retraite d'un des 4 membres du thème).

1.2.3. Axe MMS

Identité de l'Axe

L'Axe **Mécanique, Matériaux et Structures (MMS)** apporte des réponses scientifiques aux grands défis sociétaux et industriels, au moyen de recherches théoriques et appliquées. Il réunit les forces vives en "mécanique, génie mécanique et génie civil" et en "systèmes industriels" dans la région Auvergne (sections CNU 60, 61, 62 et 63, et section 09 du CNRS). L'Axe MMS comporte 42% des enseignants-chercheurs de l'Institut Pascal, issus majoritairement du Laboratoire de Mécanique et Ingénieries (LaMI), appartenant à deux établissements : l'Université Blaise Pascal (Polytech Clermont-Ferrand, UFR Sciences et Technologies, IUT d'Allier à Montluçon) et l'Institut Français de Mécanique Avancée. Les activités de l'Axe MMS s'inscrivent pleinement dans le domaine des Sciences Pour l'Ingénieur (SPI), avec une large couverture des disciplines scientifiques dans les domaines de la mécanique, des matériaux et des structures. Dans ces activités en SPI, le chercheur est non seulement un observateur, mais aussi un créateur et un inventeur. Il est clair que si des liens existent bien évidemment avec la physique, l'ingénierie en noue naturellement avec la plupart des disciplines scientifiques, aussi bien qu'avec celles relevant de l'économie et des sciences humaines. Les travaux de recherche au sein de l'Axe MMS contribuent à la création et à l'analyse des objets et systèmes, comprenant des structures complexes avec des composants très variés. Ces recherches ne peuvent pas se réduire à une simple application de tel ou tel champ disciplinaire, à tel ou tel métier, mais possèdent un contenu propre aussi bien méthodologique que scientifique.

Les thématiques scientifiques de l'Axe MMS portent sur : la **mécanique des matériaux et des structures**, la **conception de machines, mécanismes et systèmes industriels**, et la **mécanique probabiliste des matériaux et des structures**. Ces activités scientifiques portent à la fois sur les recherches amont et sur les recherches finalisées, avec une forte préoccupation des enjeux socio-économiques régionaux, nationaux et internationaux. Pour répondre aux besoins de finalisation, l'Axe MMS s'appuie sur deux plateformes de transfert : le Centre de Transfert de Technologie de l'IFMA et la plateforme Matériaux et Structures pour le Génie Civil de Polytech Clermont-Ferrand. L'Axe MMS apporte une contribution forte à la formation par la recherche, d'une part au niveau de deux Masters Recherche, d'autre part au niveau de l'École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur. Il contribue activement à la gestion de l'ED et aux enseignements délivrés par l'ED au niveau doctoral.

Le caractère pluridisciplinaire et les compétences scientifiques reconnues de l'Axe MMS, ainsi que sa proximité des enjeux industriels, sont des atouts pour le développement de méthodologies, de produits et de systèmes innovants pour l'ingénierie de demain, permettant de répondre aux défis scientifiques que posent les mutations considérables du monde industriel en cours et à venir. L'originalité des travaux de l'Axe se situe au niveau de la volonté de conduire une recherche à la fois théorique et finalisée sur les matériaux, structures et machines en intégrant la modélisation de leur comportement réel et leurs évolutions dans le temps et dans l'espace. De ce fait, la politique scientifique de l'Axe MMS est en parfaite adéquation avec les directives nationales et européennes en matière de développement durable et de modernisation de l'industrie française.

Organisation fonctionnelle

Organisation scientifique

Les travaux de recherche de l'Axe MMS ont pour objectifs de répondre aux problématiques scientifiques dans trois grandes directions relevant du secteur SPI :

- **Matériaux et Structures (MS)**

La problématique scientifique concerne les approches couplées de modélisation et d'expérimentation, allant des matériaux aux structures dans les domaines de la mécanique et du génie civil. L'originalité de la recherche menée réside dans l'utilisation des mesures des champs et du calcul multi-échelle pour l'identification en mécanique des solides et pour l'analyse du comportement des matériaux à structure hiérarchisée, des multi-matériaux et de leurs interfaces, ceci sous chargement monotone ou de fatigue, en situation naturelle ou extrême. Les thèmes privilégiés d'étude sont : (1) les mesures de champs en mécanique des solides, (2) les matériaux naturels et bio-sourcés, et (3) l'analyse multi-échelles appliquée aux matériaux hiérarchisés, continus ou discontinus et aux structures multi-corps ou multi-matériaux.

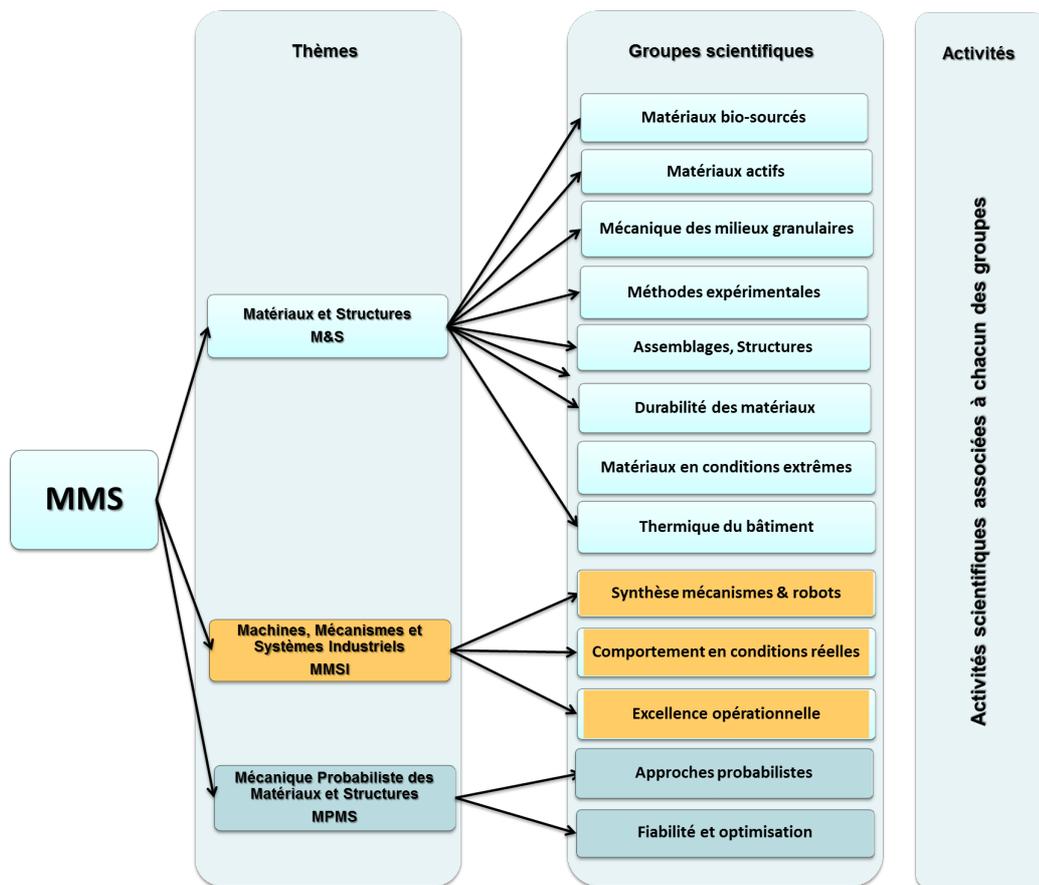
- **Machines, Mécanismes et Systèmes Industriels (MMSI)**

La problématique scientifique concerne la conception et l'optimisation des systèmes industriels et de leurs évolutions spatiales et temporelles, en garantissant un très haut niveau de performance dans un environnement variable ou changeant. Cette problématique est abordée par une approche pluridisciplinaire, reposant sur des développements méthodologiques permettant de tenir compte non

seulement du point de vue mécanicien, mais aussi des points de vue organisationnels ou liés au pilotage des systèmes industriels, sans oublier les variabilités liées aux évolutions des tâches, de morphologie de pièces ou d'organisation. Pour résoudre cette problématique, le concept d'agilité est abordé suivant les trois thèmes privilégiés : (1) la synthèse structurale des mécanismes et des robots, (2) l'étude du comportement en conditions réelles des systèmes complexes, et (3) l'excellence opérationnelle des systèmes industriels.

- **Mécanique Probabiliste des Matériaux et des Structures (MPMS)**

La problématique scientifique porte sur le développement de méthodologies et d'outils méthodologiques, algorithmiques et numériques pour le traitement probabiliste des incertitudes pour la mécanique des matériaux et structures, ainsi que pour les systèmes industriels. Il s'agit de la prise en compte de l'incertain dans la conception, la modélisation, l'exploitation et la maintenance des structures et systèmes mécaniques. L'originalité de ces activités, fortement reconnues à l'échelle nationale et internationale, réside dans leur capacité réelle à répondre aux enjeux méthodologiques et industriels. Les thèmes privilégiés d'étude sont : (1) les algorithmes de calcul stochastique, (2) l'identification probabiliste des modèles et des données, et (3) l'optimisation de la conception et de la maintenance des structures sous contraintes de fiabilité.



Etant essentiellement inscrit dans la section 60 du CNU, ces thématiques de recherche forment un large spectre scientifique dont la cohérence réside dans la caractérisation, la modélisation, la conception et l'optimisation en mécanique du solide, en conditions réelles, tout au long du cycle de vie des matériaux, des structures et des systèmes industriels. Cela concerne à la fois les solides déformables et indéformables, d'une part, et la mécanique, le génie mécanique et le génie civil, d'autre part.

Les membres de l'Axe MMS contribuent activement aux actions du programme transversal de l'Institut Pascal, dont quatre actions sont portées ou co-portées par des enseignants-chercheurs de l'Axe. En plus des fortes collaborations au sein de l'Institut Pascal, des collaborations solides sont maintenues et renforcées avec d'autres laboratoires clermontois (ex. ICCF, GReD, LMV,...) et organismes de recherche régionaux et nationaux (ex. Irstea, Cerema, Ifsttar,...), sans oublier les très nombreuses entreprises avec lesquelles nous avons des liens étroits. L'activité scientifique de l'Axe MMS s'inscrit également dans la politique de la région

Auvergne (et bientôt Rhône-Alpes-Auvergne), en coordination totale avec le pôle de compétitivité Viaméca et les clusters régionaux.

Outils et méthodes

Pour développer ses activités, l'Axe MMS s'appuie sur des compétences solides en :

- Techniques expérimentales, avec ou sans contact, sur des matériaux et structures, machines et robots, allant de l'échelle du matériau à celle de la structure (i.e., échelle "un"); les essais sur des assemblages multicomposants et multimatériaux permettent la compréhension de leur comportement complexe ;
- Synthèse des mécanismes et des robots ;
- Modélisation géométrique, cinématique, statique et dynamique et identification du comportement des machines et robots en service
- Excellence opérationnelle des systèmes complexes
- Modélisation analytique et numérique des matériaux, structures et systèmes mécaniques multi-corps, soit en conditions réelles, soit en conditions extrêmes ;
- Méthodologies d'analyse stochastique et de propagation d'incertitudes, avec prise en compte de la variabilité temporelle et spatiale.

Ces activités s'appuient sur deux plateformes expérimentales (CTT IFMA et MSGC), sur des machines et équipements spécifiques, notamment les cellules d'usinage robotisées et de manipulation dextre des programmes EquipEx RobotEx, des équipements de mesure de champ, et sur des serveurs et clusters de calcul pour la modélisation déterministe et stochastique.

Formation par la recherche

L'Axe MMS apporte une contribution forte à la formation par la recherche, d'une part au niveau de l'Ecole Doctorale SPI, d'autre part au niveau du Master "Génie mécanique et civil, automatique, robotique". Il contribue activement à la gestion de l'ED et aux enseignements délivrés par l'ED au niveau doctoral. Les membres de cet Axe de recherche sont fortement impliqués dans la responsabilité de la formation de master dans les spécialités "Mécanique, Matériaux, Structures, Fiabilité" et "Conception Innovante, Maintenance, Durabilité", dont la qualité du recrutement et du bilan, soulignée dans l'expertise précédente de l'AERES, est un point fort pour le développement des activités scientifiques de l'Axe MMS. Avec l'intégration du groupe scientifique sur les "matériaux en conditions extrêmes" en 2014, les membres de l'Axe portent également la responsabilité du Master "Gestion et transformation de l'énergie électrique" dont certains modules sont orientés vers l'énergétique du bâtiment et les environnements extrêmes.

Gouvernance et animation

La gouvernance de l'Axe MMS est structurée à plusieurs niveaux :

- le **comité d'Axe**, composé du responsable et du responsable adjoint de l'Axe, des coordinateurs des trois thèmes et de leurs adjoints, et du représentant du personnel IATOS ; ce comité, qui se réunit deux fois par mois, constitue l'organe de pilotage et de décision ;
- le **comité d'Axe élargi**, composé des membres du comité d'Axe, en plus des référents des 13 groupes scientifiques ; ce comité élargi, qui se réunit une fois par mois, est le siège de discussions, d'échanges et de débats au sein de l'Axe ; son rôle est de formuler des recommandations pour le comité d'Axe et d'améliorer la communication ascendante et descendante entre le niveau décisionnel et le niveau opérationnel de l'activité ;
- les **assemblées générales**, organisées quatre fois par an, qui précèdent les séminaires communs de l'Axe ; ces assemblées sont consacrées aux échanges d'informations, de bilans et aux débats autour des questions importantes ;
- des **séances extraordinaires** du comité d'Axe (normal ou élargi) et de l'assemblée générale, sont planifiées lorsqu'il s'agit des projets d'envergure, de débats ou d'actions urgentes.

L'animation scientifique s'articule autour des :

- **séminaires scientifiques**, organisés une fois par mois, dont quatre sont communs à tout l'Axe et les autres sont organisés par thème scientifique :
 - les **séminaires d'Axe** sont consacrés à une présentation scientifique effectuée par un invité extérieur ou par des acteurs internes sur des avancées ou des actions transversales ou nouvelles ; ces séminaires sont gérés par le responsable ou le responsable adjoint de l'Axe ;
 - les **séminaires de Thèmes** sont consacrés aux présentations scientifiques spécifiques à chacun des thèmes ; ils sont également le siège d'échanges méthodologiques et scientifiques, ainsi que de montage de projets ou de collaborations ; certains séminaires

peuvent être communs à deux thèmes lorsqu'il s'agit de sujets scientifiques partagés ; ces séminaires sont gérés par les coordinateurs des thèmes ;

- le **premier et le dernier séminaire d'Axe** de l'année universitaire sont réservés à la présentation des sujets de recherche des nouveaux collègues et à la présentation d'une sélection de stages de Master "Ingénierie Mécanique et Civile", respectivement ;
- **réunions de projets**, pour organiser la contribution ou l'engagement dans une action scientifique, ou pour la préparation du montage d'un projet de recherche ;
- **communications** autour des activités de recherche, à travers :
 - des pages web sur l'activité de l'Axe et des trois thèmes ;
 - des pages web sur les activités de chacun des treize groupes scientifiques ;
 - des pages personnels des membres de l'Axe ;
 - des plaquettes de présentation des activités scientifiques et des sujets de recherche ;
 - des jeux standards de diapositives pour l'Axe, les thèmes et les groupes scientifiques.

Cartographies récapitulatives

Personnels

- 57 Enseignants-Chercheurs aujourd'hui : 16 PR - 41 MCF (dont 12 HDR)
(58 EC sur la période : départ de 1 PR en 2014)
avec la répartition CNU suivante : 47 EC CNU 60, 5 EC CNU 61, 1 EC CNU 62, 4 EC CNU 63
- 8 BIATSS : 5 AI - 1 IE - 2 IR (pour ETP total = 2,75)
- 62 doctorants
- 2 post-docs

✓ Répartition par établissement

- Enseignants-Chercheurs/Chercheurs : 34 UBP - 23 IFMA
- Equipe Technique : 2 UBP - 6 IFMA

✓ Associés

- 1 MCF - 1 PR - 2 PRAG
- 1 PR Emérite
- 2 Ingénieurs

Equipements spécifiques / Plateformes

Les travaux de recherche de l'Axe MMS s'appuient sur les plateformes et moyens suivants :

- Centre de Transfert de Technologie de l'IFMA (CTT IFMA) de 3200 m², comportant de nombreux moyens d'essais, d'usinage et de prototypage rapide ainsi que plusieurs cellules robotisées.
- Plateforme d'essais à l'échelle "un" sur les matériaux et structures de génie civil (MSGC) de 700 m².
- Plateforme d'Éco-valorisation des Matériaux Granulaires et Fibreux "ECOGRAFI" de 300 m².
- Plateforme expérimentale d'excellence dans les domaines de la robotique de production ROBPROD, dans le cadre du PIA EquipEx ROBOTEX.
- Equipements et caméras de mesures de champ et de tomographie.
- Plateau d'essais mécanique des matériaux à l'IFMA.
- Machines d'essais de fatigue à Montluçon.
- Matériels de vision : Caméra rapide haute résolution, caméras de stéréovision rapide, microscope, Equipements et caméras de mesures de champ et de tomographie.
- Plateformes mobiles : démonstrateurs de véhicules et robots mobiles expérimentaux (6x6 tout-terrain, robots agiles de franchissement d'obstacles, robots mobiles collaboratifs)
- Kits de robotique modulaire à plusieurs échelles : grande échelle (armoire de commande mécatronique, actionneurs de forte puissance, pièces standardisées) ; petite échelle (mallettes pédagogiques)
- Chambres climatiques et moyens de caractérisation thermique et de résistance au feu des matériaux.

Projets collaboratifs académiques

La politique scientifique de l'Axe a pour objectif d'encourager les membres et les groupes scientifiques au montage de projets nationaux et internationaux. Pour cette fin, une part du budget de l'Axe (environ 20%) est consacrée à ce qui est appelé **levier scientifique** qui a pour objet :

- de soutenir les opérations, réunions ou déplacements pour le montage de projets, notamment les projets européens ;

- de financer des stages de master, ou autres, pour explorer des domaines scientifiques nouveaux, permettant de préparer le terrain pour l'élaboration de projet et pour répondre aux appels nationaux et régionaux.

En plus de ce soutien financier, d'autres actions de soutien sont mises en place :

- réunions d'information sur les appels nationaux et régionaux ;
- incitations lors des séminaires au montage de projets et aux actions collectives.

Le nombre de dépôts de projets ANR de l'Axe est égal à 10 pour 2013 et 9 pour 2015, dont 30% ont été en pré-sélection. L'Axe MMS a bénéficié de douze projets ANR sur la période. Le tableau suivant récapitule le nombre de projets collaboratifs nationaux et internationaux de l'Axe sur la période évaluée :

	Type	Nombre	Coordination	Répartition
Nationaux	ANR Collaboratifs	13 + 2	4	4 MS - 4 MMSI - 4 MPMS - 1 MS/MPMS + 2 MMSI/Axe ISPR
	ANR Jeune Chercheur	1	1	1 MS
	LabEx IMobS3	4	4	4 MMSI
	EquipEx ROBOTEX	1	1	1 MMSI
	Projet Région CPER Innov@Pôle	2009-2013 2015-2020	0	5 MS 2 MMSI
	autres Région	7	7	
	PEPS	1	0	1 MPMS
Internationaux	FP7	4	2	3 MMSI - 1 MS
	COST	6 actions	0	5 MS - 1 MPMS
	PHC	1	1	1 MPMS -MS
	COFECUB	1	1	1 MPMS
	H2020 Bots 2Rec	1	1	MMSI - Axe SPR

Production scientifique

La production scientifique de l'Axe MMS témoigne du dynamisme des groupes scientifiques et de la richesse des travaux réalisés. Les indicateurs bibliométriques montrent un taux de production qui se situe au rang des meilleurs laboratoires français relevant de la 60^{ème} section du CNU.

	ACL	OS	ACTI	ACTN	TOTAL
Communications écrites	362	62	422	181	1027
	INV	COM	AFF	-	TOTAL
Communications orales	35	136	24		195

Note (OS) : 4 directions d'ouvrage et 1 ouvrage.

Par rapport à la période précédente (2006-2010), la production scientifique a bénéficié d'une nette progression de plus de 30% pour les ACL (362 ACL contre 199 pour la période 01/2006-06/2010), pour quasiment le même nombre d'enseignants-chercheurs. Le taux de publication actuel est de 2,54 ACL/ETP/an, alors qu'il n'était que de 2,1 ACL/ETP/an pour 2006-2009 ; ce qui représente une augmentation de 21% (sans compter les travaux antérieurs des enseignants-chercheurs qui ont rejoint l'axe au cours de la période de référence). L'activité de publication est par ailleurs répartie de façon quasi-proportionnelle au nombre d'enseignants-chercheurs dans les trois thèmes, ce qui démontre l'homogénéité de la production entre ces thèmes. Par ailleurs, les revues dans lesquelles se trouvent ces publications bénéficient de l'impact facteur le plus élevé dans les domaines associés à la section 60 du CNU (liste exhaustive en Annexe 6.3 (Annexes Institut Pascal).

D'autres indicateurs de la progression en termes de qualité, par rapport à la période d'expertise précédente, se trouvent dans les indices de citation des papiers des doctorants encadrés par les membres de l'Axe. Ces indicateurs (citations, h-index) témoignent de l'excellence des travaux effectués dans l'Axe MMS.

Taux de citations d'articles publiés par des chercheurs de MMS :

Nombre articles cités plus de 40 fois : 36.

Les cinq articles publiés depuis 2010 les plus cités :

Nombre de citations	Articles publiés entre 2010 et 2015
96	Y Aoues et al., Structural and Multidisciplinary Optimization 41 (2), 277-294, 2010
83	R. Marcombe et al., Soft Matter, 2010, 6, 784 – 793, 2010
53	E. Bastidas-Arteaga et al., Engineering Structures 33 (3), 720-730, 2011
45	B. Echard et al., Structural Safety, 33, 145-154, 2011
38	C. Badulescu et al., Mechanics of Materials 43 (1), 36-53, 2011

Taux de citation, facteur h de certains membres de l'Axe (source Google Scholar) :

M. Grédiac, 4043 citations, dont 2455 depuis 2010, h=33.

G. Gogu, 2002 citations, dont 1191 depuis 2010, h=20.

A. Chateaneuf, 1790 citations, dont 1284 depuis 2010, h=22.

S. Amziane, 693 citations, dont 548 depuis 2010, h=18.

✓ Logiciels, ressources, bases de données...

2 logiciels de calcul stochastique et de fiabilité, dont FERUM qui bénéficie d'une renommée internationale (voir la fiche scientifique associée).

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

Le bilan de l'activité scientifique montre que les membres de l'Axe MMS ont un très fort rayonnement scientifique et d'animation que ce soit au niveau régional, national et international.

L'Axe MMS est un des leaders mondiaux de la recherche en mesure des champs de déformation (thème MS), en mécanique probabiliste des matériaux et des structures (thème MPMS) et en synthèse structurale des mécanismes et robots (thème MMSI).

✓ Invitations et attractivité internationales

Les membres de l'Axe MMS participent activement à des collaborations internationales qui se concrétisent :

- par des projets partenariaux
- des invitations en conférences internationales
- des invitations en séjour de travail à l'étranger et des invitations en séjour de travail en France pour des partenaires étrangers
- des formations spécialisées à l'étranger
- des co-directions de thèse
- des organisations de conférences internationales à Clermont-Ferrand.

Le détail pourra être apprécié dans les synthèses par thème.

✓ Conventions bilatérales

L'Axe MMS a réalisé seize conventions bilatérales :

- Université Tlemcen (Algérie)
- Université de Mendoza (Argentine)
- Universités Brasilia et Goiania (Brésil)
- 2IE Ouagadougou (Burkina Faso).
- Université de Valparaiso (Chili)
- Université des Sciences et Techniques de Masuku (Franceville, Gabon)
- Ecole Hassania des Travaux Publics (Maroc)
- Queens University de Belfast (Grande Bretagne)
- USTEB Budapest (Hongrie)
- Université Libanaise (Beirut, Liban)
- Université Polytechnique de Cracovie (Pologne)
- LNEC Lisbonne (Portugal)
- Politechnica Timisoara (Roumanie)
- Université de N'djamena (Tchad)
- Convention bilatérale (Gabon)
- Convention bilatérale, Ecole Nationale des Ingénieurs de Bizerte (Tunisie)

En plus de deux PHC au cours de cette période :

- Projet TASSILI, USTO, Oran, Algérie, 2008-2011.
- Projet COFECUB, USP, Sao Paulo, Brésil, 2011-2015.

✓ *Prix et Distinctions*

Trois prix ont été attribués à des enseignants-chercheurs de l'Axe MMS :

- Deux Awards of the Society for Experimental Mechanics (SEM) en 2011 et en 2015 : Michel Grédiac.
- Prix Daniel Valentin 2011 : Karine Charlet.

Deux prix ont été attribués à de jeunes chercheurs de l'Axe MMS :

- Prix Institut de la Maîtrise des Risques : Vincent Dubroug.
- Premier prix jeune chercheur de la ville de Clermont-Ferrand : Matthieu Alric.

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Les membres de l'Axe MMS participent activement à des comités scientifiques nationaux et internationaux. On peut aussi souligner pour la période de référence (2010-2015) :

- Participations à des comités de rédaction de 12 revues scientifiques.
- Participation à 42 comités scientifiques de conférences internationales.
- Présidence de sessions dans 19 conférences internationales et participation dans nombreux comités d'organisation de conférences.
- 9 séminaires sur invitation en France et 12 à l'étranger.
- Participation à 21 instances nationales et 10 instances internationales d'évaluation de l'enseignement et/ou de la recherche.
- Une participation forte à des jurys de thèse et d'HDR. Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple ces nombres de participations à des jurys (thèse, HDR).

	Nombre de participations dans des jurys hors du laboratoire
Habilitation à Diriger des Recherches	31
Thèses de doctorat	240
dont jurys à l'étranger	29

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

Les membres de l'Axe MMS ont assuré le leadership d'un certain nombre d'actions, telles que :

- GDR Mesure de Champs.
- ESReDA Project Group, Reliability-Based Life cycle cost optimization of structures and infrastructures, 2011-2015.

✓ *Expertises*

Des expertises nationales et internationales ont été effectuées par les membres de l'Axe :

- Membre du comité d'évaluation des projets ANR, 2015.
- Expertises AERES de laboratoires : LOFIMS, LIRMM.
- Expertises de projets ANR.
- Expertise d'articles pour 74 revues scientifiques différentes.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

L'activité scientifique de l'Axe MMS est très fortement marquée par l'intérêt porté aux grands enjeux socio-économiques. Cette préoccupation accompagne le projet de l'Institut Pascal dans la volonté collective de créer un pôle structurant dans le domaine des « Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes » sur la place clermontoise lisible au plan national et international et résolument orienté vers l'innovation et le monde socio-économique. Dans ce contexte, l'Axe MMS développe des recherches amont et finalisées permettant de répondre aux défis sociétaux et industriels, en particulier le développement durable (matériaux bio-sourcés, énergétique du bâtiment,...) et l'agilité des systèmes de production (synthèse structurale, éco-conception, reconfiguration,...).

Ces activités s'inscrivent pleinement dans deux Domaines d'Innovation Stratégique de la région Auvergne : DIS 3 "Espaces de vie durables" et DIS 5 "Systèmes performants et intelligents - Usine du futur". Les liens forts avec le pôle de compétitivité Viaméca et avec les clusters régionaux viennent renforcer ce rôle essentiel de l'Axe dans le paysage scientifique clermontois.

Sur le plan des relations industrielles, l'Axe MMS bénéficie d'un lien très fort avec les industries régionales et nationales, dans les domaines scientifiques associés aux trois thèmes. Plusieurs des travaux de recherches du thème sont menées en interaction avec le milieu industriel. On peut prendre comme exemple les travaux effectués dans le domaine du comportement des structures sous incendie (Cifre CTICM, Cifre CSTB), du diagnostic des voies ferrées et des réseaux (SNCF, RATP, Sol Solution). Les brevets déposés au niveau national et international ont permis de mettre en place des processus et technologies innovantes pour le monde industriel.

✓ *Production*

10 BRE (4 MS, 5 MMSI, 1 MPMS)

32 rapports de recherche industriels.

✓ *Activités contractuelles*

	Type	Nombre
Contrats	FUI	7
	IND	31

Formation

L'Axe MMS est très fortement impliqué dans les formations d'appui suivantes :

- Master "Ingénierie Mécanique et Civile" de l'UBP et de l'IFMA : 34 étudiants en M2 Recherche et 13 en M2 Professionnel ; le responsable du Master, JF Destrebecq, est membre de l'Axe MMS.
- Master "Gestion et transformation de l'énergie électrique" de l'UBP : 18 étudiants en M2 ; le responsable du Master, Frédéric Périssé, est membre associé de l'Axe MMS depuis 2014.
- Formation d'ingénieurs à l'IFMA : 480 élèves-ingénieurs ; les responsables des trois pôles de l'IFMA sont des membres de l'Axe MMS, dont N. Gayton le responsable adjoint de l'Axe MMS.
- Formation d'ingénieurs du département de Génie Civil de Polytech Clermont-Ferrand : 220 élèves-ingénieurs ; le responsable du département, P. Breul, est professeur membre de l'Axe MMS.
- Formation au département de Génie Mécanique et Production de l'IUT d'Allier à Montluçon : 150 étudiants.

Cinq réalisations majeures de l'Axe

- Plateau de recherche ECOGRAFI : il s'agit d'une action structurante d'envergure pour la filière des matériaux naturels et bio-sourcés, avec l'implication d'une dizaine d'enseignants-chercheurs ; ce plateau est un exemple unique en France dans ce secteur scientifique.
- Travail pionnier et nouvelle approche couplant les techniques de mesures sans contact et les méthodes d'identification inverse, valorisé par de nombreux travaux et publications, ouvrages et projets d'envergure, dont témoigne le prix B.J. Lazan 2015 de la Society of Experimental Mechanics.
- Développement de la famille de méthodes AK pour la classification des systèmes : il s'agit d'une méthodologie innovante et efficace pour l'analyse de fiabilité des structures.
- Projet européen thinkMOTION : ce projet d'envergure, dans lequel l'IP joue un rôle majeur, consiste à construire une bibliothèque mondiale de machines et mécanismes utilisable pour la conception des systèmes et robots.
- Structural Synthesis of Parallel Robots : il s'agit d'un ouvrage de référence en cinq tomes, avec plus de 3400 pages, publié chez Springer entre 2008 et 2014.

Analyse SWOT

Analyse du positionnement de l'Axe MMS

L'Axe Mécanique, Matériaux et Structures (ex. Laboratoire de Mécanique et Ingénieries LaMI) couvre un large domaine de la mécanique. Les 56 enseignants-chercheurs qui y sont rattachés (soit environ 42% des EC de l'Institut Pascal) sont répartis comme suit : 33 EC en mécanique du solide, 10 EC en mécanique probabiliste et 14 EC en robotique de production et systèmes industriels.

Depuis sa création en janvier 2012, l'Institut Pascal a bénéficié pour son développement de moyens matériels et humains très importants apportés par le Labex IMobS3 et l'Equipex Robotex, avec pour ce qui concerne la mécanique un soutien centré de manière quasi-exclusive sur les activités en robotique mobile

et de production. Pour la prochaine période, le soutien à ces thématiques pourrait se trouver encore renforcé par le projet I-SITE en cours de construction.

Au sein de l'Axe MMS, ces moyens se sont trouvés concentrés sur les activités d'une douzaine d'enseignants-chercheurs directement impliqués dans ces thématiques. En revanche, le reste de l'Axe (soit 80% de ses membres environ) s'est trouvé de fait quasiment exclu de cette dynamique, ceci malgré la forte reconnaissance de ses activités de recherche et de sa production scientifique sur le plan national et international. Ceci concerne essentiellement les membres de l'Axe MMS menant leurs recherches en mécanique des matériaux et structures, ainsi que sur les approches probabilistes.

Cette orientation, non prévue par le projet initial de l'Institut Pascal lors de sa création, est sans aucun doute très favorable aux activités soutenues par le Labex, l'Equipex et peut être à terme par le projet I-SITE. Elle est par contre porteuse d'un risque non négligeable que l'activité actuelle en mécanique des matériaux et structures et sur les approches probabilistes perde rapidement en visibilité et en efficacité, ceci malgré un bilan scientifique de grande qualité et une cohérence certaine des travaux menés en tenant compte de priorités régionales et nationales.

L'encouragement d'actions fédératrices transversales fortes, inscrites dans le projet initial du laboratoire, aurait dû favoriser l'implication et le développement de l'ensemble de ses forces vives dans les activités et le développement du laboratoire. Faut de cette politique équilibrée, le risque est grand actuellement que les membres concernés de l'Axe MMS se sentent de moins en moins pris en compte par la politique menée par la gouvernance actuelle. La sous-représentation de l'Axe au sein des organes décisionnels et la non-proportionnalité des moyens attribués à l'Axe au regard de son importance au sein du laboratoire, sont autant d'éléments de nature à renforcer ce déficit de confiance.

Si cette situation devait perdurer, on ne peut exclure à terme un risque de marginalisation de la majeure partie de l'Axe dans les projets de développement menés par le laboratoire. Cela concerne notamment le montage des projets structurants en relation avec les Programmes d'Investissement d'Avenir et de façon plus générale, la politique du site. Pour le prochain contrat, il importe donc de repenser la gouvernance et sa pratique de manière à écarter le risque d'une évolution vers un laboratoire à deux vitesses, ce qui conduirait inévitablement à une perte de motivation et de perspective pour un grand nombre d'acteurs, notamment les jeunes chercheurs, au risque de nuire à l'adhésion au projet présenté au nom du laboratoire tout entier.

Forces

- L'Axe est composé de nombreux enseignants-chercheurs, avec une très bonne cohésion et vision commune des perspectives.
- Le bilan production scientifique est de haut niveau, et en très forte progression, avec une bonne complémentarité entre les recherches amont et finalisées.
- Les plateformes d'appui représentent des atouts importants pour l'activité de transfert, qui est essentielle pour les travaux en SPI.
- L'Axe bénéficie de domaines d'excellence reconnus au niveau international : fiabilité et risque, mesure de champs, robotique de production et géotechnique.
- L'importance de la recherche partenariale et les liens forts avec l'industrie sont des spécificités de l'Axe.
- L'Axe s'appuie fortement sur des formations professionnalisantes solides et de haut niveau.
- La diversité thématique offre la capacité de répondre aux projets transversaux.

Faiblesses

- La représentativité de l'Axe MMS au sein de l'Institut ne reflète pas le poids réel de l'Axe, ni dans la gouvernance, ni dans le choix des orientations.
- Il n'y a pas de personnels techniques dédiés à l'Axe, puisque ces personnels sont mis à disposition à temps partiel par les établissements.
- Les moyens de calcul sont obsolètes et inexistant, malgré le fort besoin dans ce sens.
- Le taux d'acceptation des projets ANR et européens est faible, malgré le nombre significatif de dépôts.
- La disproportion des tailles d'équipe, des moyens et des personnels affectés, représente des difficultés de gestion interne des ressources de l'Axe.
- La répartition multi-site et multi-tutelle ne facilite pas la gestion de l'Axe.

Opportunités

- La cohérence de la politique scientifique avec les priorités régionales, nationales et européennes, rend l'activité en phase avec les appels et les besoins actuels.

- La fusion des compétences en mécanique et commande pour la robotique est une opportunité à saisir.
- Le lien avec l'industrie permet de développer des projets collaboratifs et obtenir des financements adéquats.

Risques

- La démotivation des enseignants-chercheurs, en particulier les jeunes, commence à se sentir par manque de moyens humains et financiers, et par l'augmentation du volume des tâches annexes.
- Les politiques totalement orientées sur les « projets structurants » n'associant que peu de domaines d'excellence de l'Axe, et par conséquent, de nombreux membres de l'Axe se sentent à l'écart des activités et des ressources.
- La diminution importante des moyens récurrents (budgets, bourses ministérielles, etc.) contribue à la vision pessimiste de l'avenir de la recherche.

1.2.3.1. Thème MS

Personnels

11 PR, 17 MCF, 5 MCF-HDR

Sofiane AMZIANE (PR60, UBP), Philippe AUDEBERT (MCF62, UBP), Claude BACCONNET (MCF60, UBP), Xavier BALANDRAUD (PR60, IFMA), Alexis BEAKOU (PR60, IFMA), Benoît BLAYSAT (MCF60, UBP), **Abdelhamid BOUCHAIR** (PR60, UBP), M'hamed BOUZIDI (PR60, UBP), Pierre BREUL (PR60, UBP), Karine CHARLET (MCF60, IFMA), Bastien CHEVALIER (MCF60, UBP), Raphaël CONTAMINE (MCF60, UBP), Jean-François DESTREBECCO (PR60, UBP), Emmanuel DUFFOUR (MCF63, UBP), Sébastien DURIF (MCF60, UBP), Eric FOURNELLY (MCF60, UBP), Michel GREDIAC (PR60, UBP), Florence LABESSE-JIED (MCF60-HDR, UBP), Yuri LAPUSTA (PR60, IFMA), Cécile MATTRAND (MCF60, IFMA ; 50% thème MPMS), Sébastien MENECHIER (MCF63, UBP), Mathilde MORVAN (MCF60, UBP), Rostand MOUTOU PITTI (MCF60-HDR, UBP), Salah Eddine OULD-BOUKHITINE (MCF60, UBP), Fabienne PENNEC (MCF60, UBP), Frédéric PERISSE (MCF63, UBP), Patrick RACHER (MCF60-HDR, UBP), Jean-Louis ROBERT (PR60, UBP), Mustapha TAAZOUNT (MCF60-HDR, UBP), Aurélie TALON (MCF60, UBP), Evelyne TOUSSAINT (PR60, UBP), Damien VACHER (MCF63, Uda), Xiao-Bing ZHANG-LI (MCF60-HDR, UBP)

Associés (2)

Gaëlle BAUDOUIN (PRAG60, UBP), Naman RECHO (PR60, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (36 dont 2 communes avec MPMS) : Maxime AUDEBERT (CIFRE, 10/2006-12/2010), Aymeric AZRAN (CIFRE, 11/2010-10/2013), Claudiu BADULESCU (Cotutelle, 09/2007-01/2010), Fabien BETENE EBANDA (Cotutelle, 10/2009-11/2012), Gisèle BIHINA BINTSAM (CIFRE, 12/2007-07/2011), Vitaly BREVUS (Cotutelle, 10/2009-02/2014), Constantin BUBULINCA (Cotutelle, 10/2010-11/2013), René-Matias CALVENTE (CIFRE, 03/2011-06/2014), Miguel CANO (FUI Fermat, 10/2007-10/2010), Aleksandra DEBSKA (Cotutelle, 10/2010-10/2014), Didier DELPUEYO (PRAG, 09/2006-07/2011), Olivier DUBOIS (MESR, 10/2006-03/2010), Sébastien DURIF (MESR, 10/2009-11/2012), Sébastien FUENTES (Reliquats contrats, 03/2010-06/2013), Pierre GARNIER (CIFRE, 11/2009-10/2012), **Xiao Su HU (MPMS)** (CG Allier, commun MS/MPMS, 10/2007-12/2010), Volodymyr IASNII (cotutelle, 11/2011-07/2014), Daniel LLANCA VARGAS (ANR, 10/2010-01/2014), Maïté MARCHANT (MESR, 10/2010-04/2014), Ngarmäim NADJITONON (Coop. Française Tchad, 10/2007-10/2010), Vincent NOZAHIC (Région Auvergne, 10/2009-09/2012), Guillaume POT (Région Auvergne, 10/2009-10/2012), Juan-Carlos QUEZADA (CIFRE, 10/2009-12/2012), **Noureddine RHAYMA (MPMS)** (SNCF, 10/2006-07/2010), Agnès ROUDIER (MESR, 10/2008-04/2012), Omar SAIFOUNI (MESR, 10/2010-06/2014), José Ricardo SAMACA MARTINEZ (CIFRE, 12/2010-12/2013), Florence SAULNIER (Région Auvergne PJC, 10/2010-12/2013), Maxime SOUDE (CIFRE, 10/2008-10/2011), Shengnan SUN (ANR, 04/2011-04/2014), Barthélémy TIKRI (Gvt. Tchad), Hanh TRAN (MESR, 10/2009-10/2012), Quoc Anh TRAN (MESR, 10/2011-03/2015), Djibril SOW (cotutelle, 06/2011-01/2015), Thanh Kien VU (MESR, 10/2007-12/2011), Nicolas ZALACHAS (MESR, 12/2009-04/2014)

Thèses en cours (30 doctorants dont 1 commune avec MPMS et 1 commune avec MMSI - avec année prévisionnelle de soutenance) : Maïtham ALIBRAHEMY (Campus France, 2017), Sarah ASFOUR (Gvt. Etranger, 2017), Noemi BARRERA (cotutelle Italie, 2015), Walid BELAZI (CG Allier, 2017), **Julien BOUDET (MPMS)** (MESR, 2015), Djily DANG (MESR, 2017), Papa DIOP (CIFRE, 2015), Esteban ESCOBAR (CIFRE, 2015), Yassia GANSONRE (Gvt Burkina/Sol-Solution, 2018), Pierre Alban GOUY (Région Auvergne/CNES, 2015), Pawarut JONGCHANSITTO (Campus France, 2015), Nadiia LUTSYK (Cotutelle, 2015), **Adel MEKAOUCHE (MMSI)** (Bourse IFMA, 2015), Jasim MOHAMMED (Campus France, 2017), Anthony MOUYEAUX (Irstea, 2017), Anh Vu NGUYEN (MESR, 2015), Sung Lam NGUYEN (Région Auvergne, 2015), Wichian NIAMCHAONA (Gvt. Etranger, 2016), César NIYIGENA (Région Auvergne, 2015), Bernard ODOUNGA (Gvt. Etranger, 2018), Justine QUIGNON (Irstea, 2015), Abdoulaye SAMAKE (CG Allier, 2015), Carlos SASTRE (CIFRE, 2018), Véronique SAULNIER (PRAG, 2018), Ievgen SHEVTSOV (Cotutelle, 2015), Mohamed TEGUEDI (Région Auvergne, 2017), Morgan TORT (Cotutelle, 2015), Mathilde VERNAY (MESR, 2017), Oleksii VIUN (LabEx IMobS3, 2015), Adoum WAIBAYE (Gvt. Etranger, 2015)

Co-encadrement de doctorants inscrits dans d'autres laboratoires (en cours - avec année prévisionnelle de soutenance) : Noureddine BENLEKEHAL (Chlef, Algérie, 2016), Abdelhak KADA (Chlef, Algérie, 2016), Omar MEZGHANNI (Tunis, Tunisie, 2015), Décroly DJOUBISSIE DENOUWE (2IE, 2016)

HDR présentées (6)

Pierre BREUL (2010), Jean-Benoît LE CAM (2010), Xavier BALANDRAUD (2011), Dhionis DHIMA (2013), Florence LABESSE-JIED (2014), Rostand MOUTOU-PITTI (2015)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels (9)

Maxime AUDEBERT (ATER 09/2010-08/2011 ; PD, 09/2011-08/2012), Younès BENTARZI (ANR, 09/2011-08-2012), Sébastien DURIF (ATER, 09/2012-08/2014), Seif-Eddine HAMDY (ANR CLIMBOIS, 11/2014-10/2015), Noureddine RHAYMA (Post-Doc SNCF/IP 09/2012-08/2013), Hassen RIAHI (ANR CLIMBOIS, 10/2013-08/2014), Omar SAIFOUNI (ATER-IFMA, 09/2014-08/2015), Hanh TRAN (ATER IFMA, 09/2012-08/2013), Sebastian FUENTES (ATER, 09/2011-08/2012)

Collaborateurs administratifs

Françoise CIALDELLA (UBP), Jacqueline GORSE (UBP)

Identité scientifique

Le thème MS développe des approches couplées de modélisation et d'expérimentation portant sur les matériaux et structures du génie mécanique et du génie civil. Les travaux scientifiques s'appuient sur les méthodes expérimentales telles que les mesures de champs et les approches multi-échelles pour l'identification et l'analyse des matériaux à structure hiérarchisée, des multi-matériaux et de leurs interfaces et assemblages, sous chargement monotone ou de fatigue, en situation nominale ou extrême.

En termes d'échelle, la démarche consiste à globaliser au niveau de la structure ou de l'ouvrage (macro), les comportements aux échelles des composants (méso) et des constituants des matériaux (micro). Les applications concernent la modélisation des matériaux bio-sourcés, des biomatériaux, des milieux granulaires et des alliages à mémoire de forme. Les travaux du thème prennent en compte l'impact des procédés de mise en œuvre et d'assemblage sur le comportement des matériaux, le comportement des assemblages et des structures, et sur le diagnostic et la reconnaissance des ouvrages en service. La combinaison des approches de modélisation et d'expérimentation permet au thème d'être à la pointe au niveau des analyses de structures et des effets d'échelles en associant les phénomènes observés expérimentalement et les modèles de calcul par éléments finis ou éléments discrets. Ces champs de compétence se sont enrichis par les comportements thermo-physiques des matériaux et des structures pour des applications sous différents niveaux de températures (performance énergétique de l'habitat, résistance au feu des structures, matériaux en conditions extrêmes).

Les activités scientifiques du thème sont organisées en six groupes scientifiques principaux et en deux groupes émergents qui peuvent se résumer comme suit :

- Méthodes Expérimentales, Mesures de Champs (MEMC)
- Mécanique des Sols et des Milieux Granulaires (MSMG)
- Mécanique des Assemblages, des Connexions et des Structures (MACS)
- Durabilité et Fatigue des Matériaux et des Structures (DFMS)
- Matériaux bio-sourcés et composites à base de fibres végétales, matériaux numériques (MBS)
- Matériaux Actifs et intelligents, Modélisation Multiéchelle (MAMM)
- Thermique du Bâtiment et des Matériaux (TBM)
- Comportement des Matériaux en Conditions Extrêmes (CMCE)

Les recherches du thème sont menées dans le cadre de projets et de coopérations locales, nationales et internationales. Plusieurs des travaux de recherche du thème sont menées en interaction avec le milieu industriel.

Les moyens d'essais s'appuient en partie sur ceux des plateformes technologiques MSGC, CTT-IFMA et 2MATECH. Ils concernent les moyens d'essais de matériaux et structures (dalles d'essais et vérins de 100 à 3000 kN), essais de fatigue (MTS ± 100 kN et caméra de suivi), presse traction-compression-flexion avec enceinte thermique, instrumentation de mesures, caméras (de 1 à 4,2 mégapixels), caméra infrarouge, et torche de plasma.

Dans le cadre de la plateforme Ecogradi, le thème vient de s'équiper d'autres moyens et locaux d'essais dédiés principalement aux matériaux granulaires et fibreux.

Contexte

Le thème MS développe des approches combinant modélisation et expérimentation à différentes échelles. Ses travaux sont reconnus au niveau national et international et ses membres participent à différents projets et réseaux scientifiques (ANR, COST, GDR...). Les membres du thème sont reconnus dans différents domaines tels que les techniques de mesures de champs, le comportement d'assemblages et de structures sous différents types de sollicitations (incendie, fatigue, séisme), les matériaux bio-sourcés, les moyens de reconnaissance dans les milieux granulaires. Les contacts industriels et les participations aux différents groupes de travail attestent de cette reconnaissance.

Les travaux de recherche s'appuient sur les moyens expérimentaux des différents sites de l'Axe MMS (Polytech, IFMA, IUT-Allier, Polytech, UFR Sciences et Technologies). La plateforme d'essais de structures et de composants de structures est l'une des mieux équipées au niveau national notamment pour des essais à

l'échelle un. Les équipements et aménagements acquis en 2015 dans le cadre de la plateforme Ecografi renforce encore ce potentiel expérimental, notamment pour les milieux granulaires et les matériaux fibreux et bio-sourcés. Ces moyens sont acquis dans le cadre des fonds FEDER, de la région et de fonds propres de l'UBP.

Réalisations

Les travaux du thème MS sont centrés sur des disciplines riches et variées, dont le point fédérateur est l'approche multi-échelle du comportement mécanique allant du matériau à la structure (ou l'ouvrage) avec des regards particuliers sur les aspects physiques ou thermo-physiques. Le couplage modélisation-expérimentation, y compris à l'échelle un, est un point fort du thème. Une originalité réside aussi dans le fait que le thème développe des outils de mesures de champs associant approches cinématique et thermique pour différentes applications. Le thème développe également des méthodes de caractérisation morphologique et mécanique des milieux granulaires en vue du diagnostic des ouvrages en service. Ainsi, les groupes scientifiques du thème Matériaux et Structures peuvent être décrits comme suit :

- **Groupe scientifique : méthodes expérimentales, mesures de champs (MEMC)**

Les recherches menées par le groupe MEMC concernent la caractérisation des matériaux et des structures par imagerie quantitative. Ce groupe est organisé selon les problématiques et activités scientifiques suivantes :

- caractérisation du comportement des matériaux et développement d'outils de traitement de mesures de champs thermiques et cinématiques ;
- développement de méthodes d'identification des propriétés des matériaux par méthode inverse ;
- étude de l'influence des traitements physico-chimiques des renforts sur le comportement mécanique des composites à base de co-produits de bois.

Pour la caractérisation du comportement des matériaux à partir de mesures de champs sans contact, les applications concernent des matériaux naturels (bois, tournesol, ...), des métaux (alliages à mémoire de forme, alliages d'aluminium, ...), des enrobés bitumineux, des élastomères, des verres, des milieux granulaires et des matériaux composites divers, dont les bio-composites. L'accent est mis sur la caractérisation et la compréhension des mécanismes de déformation ainsi que sur la caractérisation des sources de chaleur à partir de mesures sans contact. Ces mesures fines permettent de nourrir des modèles de comportement thermomécanique des matériaux.

Pour le développement d'outils de traitement de mesures de champs thermiques et cinématiques, la méthode de la grille est développée afin d'en extraire des grandeurs cinématiques d'images de grilles. Diverses améliorations ont été apportées récemment comme l'élimination par compensation de mouvement de défauts de grilles inhérents à l'impression des grilles transférées. Une collaboration a été instaurée en 2012 avec la communauté "traitement d'images", en particulier avec le CNRS/INRIA/Université de Lorraine, ce qui a permis d'introduire des procédures de traitement originales en photomécanique comme les moyennes non-locales, la stabilisation d'un bruit hétéroscédastique de capteur de caméra par Transformation d'Anscombe Généralisée, le filtrage dans le domaine de Fourier et la déconvolution de cartes de déformations. Ce travail permet d'améliorer de façon significative les performances métrologiques de la méthode en question, en particulier en termes de résolution spatiale à déformation donnée. Pour caractériser les matériaux subissant des déformations importantes, la corrélation d'images numériques est utilisée et un traitement des champs cinématiques permettant de remonter aux champs de déformations est développé. De même, un couplage de mesures de champs cinématiques et thermiques est effectué au moyen d'une méthode de compensation du mouvement développée dans le laboratoire afin de suivre les variations de température de points matériels en surface d'échantillons subissant des grandes transformations. Enfin, un outil de traitement de champs de variations de température est développé afin d'identifier des champs de sources, en particulier pour des matériaux présentant des localisations importantes de déformation et de sources de chaleur.

Au-delà de l'observation et de la quantification de divers phénomènes physiques, le développement de méthodes d'identification de propriétés des matériaux par méthode inverse est motivé par la difficulté de mise en œuvre d'une technique de traitement des données qui permet, en l'absence de toute solution analytique directe, d'extraire a priori les paramètres recherchés. L'intérêt de cette démarche est multiple : pouvoir caractériser des matériaux hétérogènes à partir de mesures in-situ, identifier un nombre potentiellement plus important de paramètres à partir de champs de déformations homogènes ou encore caractériser des paramètres de lois de comportement directement à partir de sous structures industrielles au lieu d'éprouvettes de géométrie simple fabriquées dans ce but. Un travail collectif conduit dans le cadre du GDR CNRS 2519 et auquel l'Institut Pascal a pris une part active a permis de lister cinq méthodes

d'identification différentes, parmi lesquelles la méthode dite des champs virtuels proposée par le laboratoire. Les derniers développements portent sur l'utilisation de la méthode pour la première fois en grandes déformations.

Une partie des récents travaux du thème porte sur le traitement de la farine de bois (hydrophile) comme renfort de composites à matrice polymère (hydrophobe), visant à améliorer les propriétés des composites dérivés. Un traitement par fluoration directe a été appliqué pour diminuer le caractère hydrophile du bois et pour augmenter sa compatibilité avec le polymère. Les composites fabriqués à partir de ce bois traité montrent effectivement une amélioration de leurs propriétés mécaniques, physiques et hygroscopiques (thèse de F. Saulnier). Depuis plus d'un an, une thèse qui porte sur le remplacement d'un bras de robot, actuellement en aluminium, par un composite à base de fibres végétales (thèse A.V. Nguyen). Après l'optimisation géométrique de ce bras, des essais sont en cours pour déterminer quel éco-composite serait le mieux adapté pour répondre aux sollicitations dynamiques imposées par la structure.

- **Groupe scientifique : mécanique des sols et des milieux granulaires (MSMG)**

Les travaux du thème MSMG s'articulent autour des problématiques et activités suivantes :

- développement d'outils et de méthodes d'identification physique et mécanique en place ;
- étude du comportement des milieux granulaires ;
- couplage / fusion de données et analyse de risques pour le diagnostic d'ouvrages ;
- renforcement de sols.

Pour le développement d'outils et méthodes, les activités précédemment développées se sont poursuivies autour du pénétromètre dynamique Panda en vue d'améliorer l'exploitation de la version 3 qui permet la mesure in situ des paramètres mécaniques qui alimentent les modèles numériques de comportement des sols (Thèse Escobar –Sols Solution). Des travaux ont également été menés sur l'estimation du potentiel épuratoire des sols en place (projet GESSOL ANCRE).

Au niveau de l'étude des milieux granulaires, des travaux sont réalisés sur la liquéfaction des sols non saturés notamment pour l'estimation de la teneur en air et de son effet sur le déclenchement du phénomène pour les structures côtières sous l'effet de la houle (projet Hydrofond) et l'étude du comportement de sols non saturés à la liquéfaction (thèse H. Vernay). Par ailleurs, des travaux de modélisation par éléments discrets sur l'étude du comportement des milieux granulaires ont permis de mieux comprendre le comportement de ces milieux et l'influence de leurs caractéristiques sur l'essai de pénétration (thèse H. Tran, SNCF), et sur le comportement du ballast ferroviaire (thèse J.C. Quezada, SNCF) avec un brevet sur une méthodologie d'estimation du tassement du ballast.

Sur le couplage et la fusion des données, une méthodologie de contrôle systématique en place des micropieux a été développée sur la base d'essai dynamique à faible déformation (projet FNTP – thèse Calvente, brevet déposé). De plus, une méthodologie est proposée pour l'évaluation et le diagnostic des ouvrages enterrés en service, basée sur le couplage de plusieurs techniques expérimentales et la fusion des différentes données, en vue de fournir un outil d'aide à la décision aux gestionnaires de ces ouvrages (projet ANR Méditoss). Des travaux sur le développement de méthodes d'analyses multicritères intégrant à la fois des exigences techniques, environnementales, sociétales et économiques ont été réalisés dans le but d'aider à une gestion durable d'une collectivité notamment vis-à-vis des risques d'inondation ou de gestion de son système d'assainissement (ANR INCERDD). Enfin, des travaux sur la prise en compte de la variabilité de la résistance au cisaillement des discontinuités de barrages en vue d'évaluer leur stabilité ont été menés en collaboration avec Irstea Aix-en-Provence, l'Université de Sherbrooke et l'entreprise Hydro-Québec (thèse D. Sow en co-tutelle).

Pour le renforcement des sols, les travaux portent sur l'étude du comportement dynamique de murs de soutènement renforcés par géosynthétique en s'appuyant sur une combinaison entre approche expérimentale (modèle physique) et modélisations discrètes (thèse M. SOUDE, CIFRE).

Dans le cadre du développement de ses activités, le thème MS a porté le projet de plateau de recherche ECOGRAFI (ECOvalorisation des matériaux GRANulaires et Fibreux) qui est opérationnel depuis septembre 2015.

Les travaux de ce thème ont abouti à la mise au point et à l'industrialisation d'un certain nombre d'outils (Panda, géo-endoscope), de méthodes de caractérisation et de procédés reconnus et employés dans le domaine industriel en France et à l'étranger. Ces développements se sont réalisés le plus souvent en partenariat et en collaboration avec l'entreprise Sol Solution qui assure la commercialisation et l'ingénierie de ces techniques, mais également avec d'autres entreprises telles que la SNCF et VEOLIA. A titre d'exemple,

les techniques de caractérisation des voies ferrées sont maintenant inscrites au cahier des charges de la SNCF et utilisées quotidiennement par les gestionnaires de ces ouvrages.

- **Groupe scientifique : mécanique des assemblages, des connexions et des structures (MACS)**

Les recherches du groupe concernent l'étude du comportement de structures et d'assemblages de structures bois, métalliques ou mixtes (acier-béton, bois-béton...) avec prise en compte de critères de ruine en situations normales ou extrêmes. La démarche scientifique est basée sur des approches multi-échelles de modélisation numérique associées à l'expérimentation. Les recherches finalisées sont présentées dans le cadre de projets et d'organismes nationaux et européens pour alimenter la réglementation technique. Ainsi, certains enseignant-chercheurs sont membres de comités nationaux et internationaux (AFPS, CEN TC250, CN/PS et P12A de l'AFPS, Irabois...). Les travaux sont réalisés en collaboration avec des organismes, universités et entreprises au niveau national (ANR Sisbat, ANR Climbois, CIFRE et contrat CSTB, CIFRE CTICM, FCBA, GDR Bois, Univ. de Limoges, Arcelor Mittal, Trelleborg) et international (PHC CAI YUANPEI Dalian University-Chine, Arcelor Mittal, Univ. Prague, Polytechnica Timisoara, Univ. Zilina, projets COST C26, FP1402, TU0904, FP1404...). Le groupe organise ses travaux autour des problématiques scientifiques suivantes :

- Développement de modèles numériques pour les matériaux complexes, les composants et les interfaces.
- Conception d'essais à différentes échelles pour valider les modèles numériques.
- Développement d'approches simplifiées pour les applications en ingénierie.

L'activité du thème peut se décliner en plusieurs actions et domaines scientifiques (Assemblages de structures, Structures et éléments de structures, Comportement au feu, Comportement sous séisme et Renforcement de structures). Ces domaines, dont les intersections sont très fortes, sont décrits ci-après.

Assemblages de structures

Les actions relatives aux assemblages de structures concernent les structures bois, métal ou mixtes. Il s'agit de caractériser le comportement mécanique de ces assemblages en situation normale, sous incendie ou sous séisme. Ainsi, des modèles numériques sont développés pour caractériser les assemblages de structures en considérant les comportements non linéaires, orthotropes ou fragiles des matériaux et leurs interfaces. Les résultats sont validés par comparaison avec ceux des essais réalisés au laboratoire. En parallèle, des modèles analytiques simplifiés sont proposés ou évalués en se rapprochant le plus possible des approches utilisées au niveau des codes européens (Eurocodes). En général, les développements théoriques sont combinés à des essais à l'échelle 1, et souvent liés à des applications industrielles en relation avec des entreprises ou dans le cadre de projets nationaux et européens (thèse CIFRE Audebert, projet Cai Yuanpei). Le groupe intervient en tant que membre dans le comité d'experts proposé par la SNCF pour étudier et évaluer les performances d'assemblages de rails suite à un accident majeur.

Structures et éléments de structures

Les travaux dans le domaine des structures et éléments de structures concernent l'étude de leur comportement en considérant une approche combinée de modélisation et d'expérimentation. L'application concerne les poutres métalliques (thèse S. Durif), les planchers mixtes acier-béton (CIFRE G. Bihina) ou bois-béton avec planches clouées ou bois lamellé-collé (projet Cai Yuanpei et Masters). La préoccupation majeure est d'arriver à une meilleure compréhension de la réponse mécanique des structures intégrant le comportement de leurs composants « élémentaires » tels que les assemblages, quelle que soit leur complexité.

Comportement sous séisme

Le comportement sous séisme est abordé en développant des approches de calcul appuyées sur les démarches de l'Eurocode 8. Il s'appuie également sur les enseignements des missions post-sismiques de l'AFPS (responsabilité du montage des missions 2008-2012). Les applications concernent les structures souples (notamment bois et métal). Les effets « diaphragme » sont évalués en réalisant des essais à l'échelle 1 de planchers bois courants en vue de comprendre leur fonctionnement mécanique dans le plan et l'influence de leurs composants (panneaux diaphragmes, attaches boulonnées, liaisons clouées...). Les travaux sont réalisés en partie dans le cadre de la coopération nationale et internationale (AFPS, ...) (thèses Vu, Fuentès). En collaboration avec le thème MPMS, le groupe a participé au projet ANR Sisbat (thèse Riahi).

Renforcement de structures

Les travaux concernent le renforcement par matériaux composites, carbone-époxy ou à matrice cimentaire, de structures en béton armé, bois ou maçonnerie. L'approche expérimentale et multi-échelle s'appuie sur la caractérisation des matériaux composites ainsi que sur l'étude du comportement global et local de composants de structures. Les résultats d'essais servent à valider et à conforter les approches de modélisation numérique et analytique en vue de développer et d'enrichir les modèles de dimensionnement. Le développement scientifique transversal associé au renforcement s'appuie en partie

sur des compétences développées au sein d'autres actions de recherche du thème : l'étude à l'échelle du matériau « Matériaux bio-sourcés » et les mesures de champs par corrélation d'images « Méthodes Expérimentales, Mesures de Champs ». Les travaux concernent des approches expérimentales (thèses algériennes Si-Youcef, Attari) ou de modélisation (thèses algériennes Beneghadi, Hadjazi et El Mahi).

Ce groupe scientifique a des liens forts existants ou en devenir avec les groupes scientifiques suivants : TBM (incendie), DFMS (fatigue d'assemblages boulonnés), MEMC (mesure de champs sur assemblages ou composants de structures). Il a également des collaborations fortes avec le thème MPMS de l'axe pour intégrer les variabilités et incertitudes dans ses approches.

- **Groupe scientifique : durabilité et fatigue des matériaux et des structures (DFMS)**

Les activités sont centrées sur la durabilité des matériaux, des structures et d'assemblages de structures dédiés en particulier aux domaines des transports - aéronautique, automobile - et du génie civil. Les études menées ont pour but d'améliorer la connaissance du comportement de structures sous chargement variable et/ou multiaxial, de comprendre les mécanismes d'endommagement de rupture et de dégradation des matériaux et des structures, d'améliorer la prévision de la durabilité, de quantifier les risques encourus et d'optimiser les structures. Ces objectifs s'inscrivent dans un contexte de développement durable : allègement des véhicules au cœur des préoccupations des constructeurs automobiles, élargissement des domaines d'utilisation des matériaux ou encore développement de nouveaux matériaux plus respectueux de l'environnement.

Par ailleurs, la prolongation de la durée de vie des structures est un enjeu majeur pour le secteur industriel, le bâtiment et le génie civil. Les activités de ce groupe scientifique apportent ainsi des réponses pertinentes aux défis associés à la gestion de la durée de vie des matériaux, structures et installations industrielles.

Les activités de ce groupe scientifique sont organisées en trois directions principales :

- fatigue sous chargement complexe ;
- endommagement et rupture des matériaux ;
- durabilité des matériaux et des structures neufs ou dégradés ;
- maîtrise de leur sûreté de fonctionnement.

Pour la fatigue sous chargement complexe, le calcul de tolérance au dommage et celui de la prévision de la durée de vie à l'amorçage d'une fissure font appel à des outils spécifiques du dimensionnement en fatigue. Les travaux de recherche de cette action développent des lois d'endommagement non linéaire adaptées à l'usage industriel, avec prise en compte de l'ordre d'apparition des cycles, des cycles de contraintes inférieurs à la limite d'endurance du matériau et de la contrainte moyenne des cycles rencontrés. Ils s'intéressent aussi au développement de critères de fatigue multiaxiaux, d'approche intégrale ou de type plan critique, qui visent à intégrer l'effet en fatigue du caractère multiaxial des états de contraintes rencontrés. Ces compétences sont utilisées pour évaluer l'influence des procédés de mise en œuvre et de fabrication des composants sur les propriétés de fatigue des matériaux (écrouissage, rugosité, contraintes résiduelles, procédés d'assemblage). Un autre aspect concerne la prise en compte du gradient de contraintes introduit par un défaut ou un accident géométrique qui génère simultanément deux effets contradictoires, celui du gradient lui-même, bénéfique à la tenue en fatigue et celui de la concentration de contraintes réductrice de la durée de vie du matériau. Les travaux réalisés ont porté essentiellement sur des applications automobiles et notamment sur le dimensionnement en fatigue de pièces de liaison au sol. Ils sont en cours d'extension au dimensionnement en fatigue de structures métalliques du génie civil et plus particulièrement d'assemblages boulonnés.

En ce qui concerne l'endommagement et la rupture des matériaux, l'étude porte sur l'analyse du comportement à la rupture des matériaux cimentaires renforcés par des fibres synthétiques ou naturels. Cette étude est effectuée à l'aide des essais d'arrachement. Un modèle analytique a été développé et vérifié par les résultats numériques et expérimentaux. Une autre étude porte sur la modélisation non-locale de la rupture des matériaux. Le développement d'un modèle numérique selon la théorie non-locale, qui combine les avantages de la mécanique de la rupture et de la théorie de l'endommagement, permet de prévoir l'amorçage puis suivre la propagation de fissures jusqu'à la rupture des matériaux fragiles. Une étude de la loi de comportement de matériaux hétérogènes a montré la possibilité d'appliquer le modèle non-local à la prévision de la rupture des matériaux hétérogènes. Ces approches sont en cours d'application aux matériaux cimentaires renforcés par des fibres naturels telles que le chanvre en s'appuyant notamment sur le modèle non-local pour la prévision de la rupture des matériaux hétérogènes.

Une autre activité menée concerne la durabilité des matériaux et des structures neuves ou dégradées en vue de maîtriser leur sûreté de fonctionnement. Ces travaux concernent d'une part la modélisation de l'endommagement et de la rupture, plus particulièrement en présence d'effets locaux et d'autre part,

l'analyse probabiliste du comportement à la rupture. Il s'agit de décrire les champs mécaniques au voisinage de la pointe de la fissure et les énergies qui leur sont associées et d'évaluer la nocivité d'une fissure en termes de propagation. Ensuite la mise en œuvre de méthodes d'approximation analytiques et numériques permet d'évaluer la probabilité qu'une longueur de fissure ou qu'un nombre de cycles à rupture atteignent des valeurs critiques sur des structures soumises aux chargements statiques et variables. Les travaux menés ont permis le développement de l'approche hamiltonienne en mécanique de la rupture, l'établissement de critères de bifurcation de fissure en milieu élastoplastique, l'analyse de la fiabilité/rupture des assemblages soudés soumis à la fatigue, la modélisation des champs mécaniques singuliers au voisinage des entailles en V, le couplage Local/Global des critères de rupture et la rupture en milieu couplé Mécanique/Piezoélectrique.

Les études sur la sûreté de fonctionnement des structures dégradées ont permis le développement de méthodologie de gestion de la durée de vie des structures, en tenant compte des variabilités associées aux conditions d'exploitation, à l'environnement extérieur, et aux phénomènes de dégradation des matériaux. Les méthodes de classement, de criticité et de fiabilité sont développées pour la prise de décision vis-à-vis de l'inspection, de la maintenance et de l'ajustement de l'exploitation. Elles permettent également la description probabiliste de la durée de vie résiduelle des structures et installations industrielles. Cette activité est fortement couplée aux travaux du thème "Mécanique Probabiliste des Matériaux et Structures".

- **Groupe scientifique : matériaux bio-sourcés et composites à base de fibres végétales, matériaux numériques (MBS)**

Les travaux sur les matériaux bio-sourcés ou à base de fibres végétales concernent l'approche multi-échelle des relations : structures, procédés, propriétés et durabilité des composites à base de fibres végétales. Les matériaux renouvelables sont de plus en plus utilisés en remplacement des fibres synthétiques dans les matériaux composites. Au niveau industriel, c'est le secteur automobile qui utilise le plus ces fibres suivi par celui de la construction. L'originalité des travaux du thème réside dans la prise en compte du rôle de l'interface intra-faisceau dans les comportements, l'utilisation de l'imagerie quantitative à différents niveaux d'échelles pour la construction de modèles géométriques à base physique, le transport des variabilités dans les changements d'échelles et dans l'utilisation de liants naturels d'origine minérale. Trois thèses de doctorat ont été soutenues sur les activités du groupe (thèses Roudier, Nozahic, Betene-Ebanda) et deux sont en cours (thèses Niyigena, Quignon). En ce qui concerne l'éco-conception des matériaux de construction, le thème MS est à l'origine, avec l'ENTP de Lyon, de la création d'un comité scientifique et technique à l'échelle nationale et d'un comité technique (TC) à rayonnement international (auprès de la RILEM, Réunion International des Laboratoires en Matériaux de Construction). Les études menées sur ce matériau complexe suivent plusieurs angles d'investigation. Elles allient tests classiques et développement de techniques originales qui ont permis d'établir un certain nombre de résultats nouveaux sur plusieurs aspects : caractérisation de la distribution granulaire, formulation et méthode de malaxage, mise en œuvre du matériau par compactage, effet du compactage sur les propriétés thermiques et mécaniques, développement de liants alternatifs à la chaux et de granulats d'origines végétales autres que le chanvre. Actuellement, en plus de l'élargissement du type de liant (ponce et pouzzolane) et de granulats (Tourneol, Mais) c'est la structuration du matériau qui intéresse le thème (thèse Nozahic 2012). C'est lors de cette phase de maturation que l'adhérence à l'interface fibre/liant se constitue. L'évaluation de l'amplitude des contraintes locales aux interfaces à l'aide de méthodes issues de la tribologie est corrélée au comportement structurel global. Le thème s'attache en particulier à définir des temps discriminants de maturation permettant de proposer au fabricant un indicateur donnant des temps de stockage/maturation avant possibilité de commercialisation. Les collaborations locales concernent le Laboratoire de Photochimie Moléculaire et Macromoléculaire (LPMM), le Laboratoire des matériaux inorganiques (LMI), l'INRA, l'IUT (Université d'Auvergne), le Laboratoire Magma et Volcans.

Par ailleurs, l'analyse et la modélisation du comportement du matériau bois représente une activité importante, à l'échelle du matériau aussi bien qu'à l'échelle de la structure et des assemblages. Les développements scientifiques portent essentiellement sur la durabilité du matériau vis-à-vis des actions climatiques, sur ses capacités de résistance parasismique et sur sa résistance au feu. Ces travaux, menés en collaboration avec le groupe MACS, s'inscrivent dans le cadre de projets nationaux et internationaux.

Les collaborations nationales concernent l'Ecole des mines de Saint-Etienne, le Programme Interdisciplinaire CNRS Chimie pour le Développement Durable, l'Université Bretagne Sud, ENSICAEN, Le Havre, ISAT Nevers et le GdR Bois. Les collaborations européennes concernent le projet COST Action FP0802 "Experimental and Computational Methods in Wood Micromechanics", Delft University of Technology, Faculty of Civil Eng., Division Timber Structure / Wood Technology (Prof. Wolfgang F. Gard) : Fibres végétales pour libération de principes actifs dans les matériaux de construction, Université de Reading, Royaume Uni, Centre de Biomimétique (Prof. G. Jérónimidis) et l'Université de Douala (Cameroun). Un projet ANR DEMETHER du programme ECOTECH principalement dédié à l'élaboration de matériaux pour la fabrication de panneaux dédiés à l'isolation thermique de bâtiments vient de se terminer.

- **Groupe scientifique : matériaux actifs et intelligents, modélisation multiéchelle (MAI2M)**

Les sujets traités dans le groupe MAI2M sont relativement récents tant sur un plan national qu'international. Plusieurs de ces travaux ont mis en évidence les potentialités offertes par les matériaux actifs en association avec d'autres matériaux pour des applications mécaniques novatrices. Ainsi, il s'avère possible d'améliorer de manière significative le comportement du matériau associé ou de donner un comportement *intelligent* à l'ensemble bi-matériau en créant des effets de précontrainte ou de confinement à l'aide d'éléments ou de renforts actifs internes ou externes.

Cette activité fortement innovante se décline en deux actions. La première concerne l'analyse multi-physique de matériaux actifs seuls ou en interaction avec des substrats divers : piézo-électriques, élastomères diélectriques, hydrogels, matériaux actifs souples (thèse Zalachas). La seconde porte sur les alliages à mémoire de forme (AMF) seuls ou en interaction avec un substrat rigide (béton) pour la création d'effets de précontrainte. Dans ce cas, les principaux résultats concernent d'une part l'analyse et la modélisation de la création de contraintes par activation thermique de l'effet mémoire dans des fils en AMF, d'autre part les mécanismes thermomécaniques d'interaction impliqués dans la création d'états de précontrainte en une et deux dimensions (i.e., confinement) dans des composants en béton (thèse Tran). La thèse de Debska, en co-tutelle avec l'institut IMiKB de l'Université Polytechnique de Cracovie (Pologne), porte sur l'utilisation d'alliages à mémoire de forme pour la création d'effets de précontrainte dans des composants en béton. Ce thème fait l'objet de collaborations internationales fortes : Université d'Harvard (USA), Karlsruhe Institute of Technology (Allemagne), Université Nationale de Dnipropetrovsk (Ukraine), Université de Padoue (Italie), Université Polytechnique de Cracovie (Pologne).

- **Groupe scientifique : thermique du bâtiment et des matériaux (TBM)**

Les actions relatives à la thermique du bâtiment concernent la caractérisation du comportement thermique des matériaux, des composants et des systèmes. L'application est majoritairement orientée vers l'analyse et l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments. Il s'agit d'un groupe scientifique émergent au sein de l'axe MMS. Un jeune MCF est recruté début 2015 pour renforcer l'équipe. Les travaux sont majoritairement réalisés au sein du site de Montluçon en s'appuyant sur les moyens du département de Génie Thermique et Energie de l'IUT d'Allier.

Ce groupe est organisé selon les problématiques et activités scientifiques suivantes :

- Développement de modèles physiques et numériques pour représenter les transferts de chaleur et de masse sous des températures de confort ou extrêmes (incendie).
- Développement d'expérimentations à différentes échelles pour caractériser l'évolution des températures de confort et extrêmes dans les parois, composants et interfaces.
- Optimisation des performances énergétiques de bâtiments en considérant les variabilités et les incertitudes.

La première orientation porte sur la modélisation physique, l'expérimentation et la modélisation des transferts de masse et de chaleur dans les parois, en partie composées de milieux bio-sourcés, intégrés dans les bâtiments. Les applications concernent les conditions normales de confort ou extrêmes de type incendie (thèse Samaké 2016).

Une des particularités des expérimentations menées est la mise en œuvre d'éléments de dimensions réalistes. Les transferts thermiques sont considérés de façon globale en vue d'évaluer la résistance mécanique des composants de structures soumis au feu. Les essais au feu sont réalisés dans le cadre de la coopération internationale ou nationale (université de Prague, Arcelor-Mittal Luxembourg, CTICM, CSTB). Une installation a été montée sur le site de Montluçon pour mener des essais de transfert thermique sous incendie sur des composants de structures. Elle est appelée à se développer pour intégrer le chargement mécanique. Un guide européen a été rédigé à la suite du projet européen Fit (2007-2010) où la France était représentée par l'IP et le CSTB.

L'activité sur les performances énergétiques des bâtiments (thèse Aissani) porte sur un thème innovant et original, concernant l'optimisation des performances énergétiques des bâtiments en tenant compte des variabilités et incertitudes, en particulier celles des matériaux et des scénarios de changement climatique. Ce travail apporte des contributions scientifiques à la stratégie de transition énergétique dans laquelle la France s'est engagée et s'inscrit parfaitement dans la Stratégie de Spécialisation Intelligente de la région Auvergne, notamment le Domaine d'Innovation Stratégique DIS 3 "espaces de vie durables". Des résultats extrêmement intéressants ont été obtenus, en particulier :

- l'identification de l'impact des scénarios de changement climatique, et de leur variabilité, sur la performance énergétique à long terme ;
- la proposition d'une nouvelle formulation du coût de rénovation en tenant compte des coûts indirects, jusqu'à présent ignorés par les professionnels ;

- la quantification du rôle des incertitudes associées aux propriétés des matériaux isolants dans le choix de la solution optimale de réhabilitation ;
- la caractérisation expérimentale de l'effet des singularités sur la performance de l'isolation.

Ce travail est actuellement étendu à la prise en compte des variabilités du comportement des occupants (thèse Belazi). La prise en compte du comportement des occupants nécessite le développement d'outils et de modèles adaptés. L'objectif de ce travail est rassembler les données sur le comportement des occupants et proposer un modèle de représentation des incertitudes. Le travail est réalisé en collaboration avec des partenaires industriels (CEREMA Clermont-Ferrand et OPHIS Clermont).

Ce groupe scientifique a des liens forts avec le thème MPMS (approches probabilistes) et le groupe scientifique MACS (Incendie dans les assemblages et les structures).

- **Groupe scientifique : comportement des matériaux en conditions extrêmes (CMCE)**

L'équipe CMCE a intégré l'axe MMS en 2014. L'équipe se penche sur deux actions principales avec une action transversale de modélisation sur la dynamique moléculaire.

La première action porte sur l'étude des plasmas de rentrées atmosphériques et de leurs impacts sur les boucliers thermiques des sondes spatiales. Ce champ d'étude, financé par le CNES et l'ESA, s'intègre dans de nombreuses collaborations internationales fédérées par l'ESA par l'intermédiaire du groupe RHTG (Radiation of High Temperature Gases in Atmospheric Entry).

La deuxième action adresse le développement de techniques plasmas pour le traitement superficiel des matériaux (aciers, bois). Cette action fut amorcée par une collaboration avec Michelin concernant l'étude d'une torche de dégraissage de fils de renforts et développée dans le cadre général de l'application des plasmas froids au traitement de matériaux. Une collaboration récente avec les Scieries du Forez, soutenue financièrement par un fond MATGRID a pour but le développement de techniques de traitement du bois par plasma froid pour améliorer ses propriétés d'adhésion.

En parallèle de ces deux actions scientifiques, ce groupe scientifique s'intéresse à la modélisation dynamique des matériaux et structures. Un projet PEPS-Site avec le GReD a été retenu en 2015, pour la modélisation dynamique du développement d'un tissu organique dans le but de comprendre les transferts des efforts mécaniques entre les cellules. Ce PEPS initie des collaborations fortes entre l'IP et le GReD dans ce domaine interdisciplinaire.

- **Activités inter-thèmes de l'axe MMS**

La majorité des collaborations transversales du thème au sein de l'axe MMS se font avec le thème MPMS. Elles mobilisent principalement la complémentarité entre les approches déterministes et probabilistes pour l'analyse des structures et des matériaux. Des coopérations se font également avec le thème MMSI en particulier sur le comportement des systèmes dynamiques utilisant soit des matériaux actifs et intelligents, soit des composites à fibres naturelles. Ces collaborations sont favorisées par la mise en place de séminaires communs entre les trois thèmes de l'axe MMS. Les travaux communs sont réalisés en associant des co-encadrements de thèses et/ou des projets financés (ANR, ...). Quelques exemples de travaux communs :

- Résistance des structures bois sous séismes (ANR Sisbat).
- Analyse probabiliste de la dégradation des voies ferrées sous trafics ferroviaires (CIFRE Rhayma, projet européen Innotrack).
- Prise en compte de l'incertain dans la problématique des prothèses médicales (MPMS/MS) (thèse Hu).
- Optimisation fiabiliste des performances énergétiques des bâtiments (thèse Aissani).
- Modélisation des performances énergétiques des bâtiments en considérant les variabilités du comportement des occupants (thèse Belazi).

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#31	ECOGRAFI Project
#32	Settlement prediction of coarse granular materials under vertical loading
#33	Full-field measurements and identification in thermomechanics of materials
#34	Methodology of diagnosis of tunnels and underground structures in use
#35	Reliable and optimal repair of damaged structures using composite materials
#36	Fire resistance of steel-to-timber connections
#37	Effects of climatic and mechanical variations on the durability of timber structures
#38	Plant fibre based composites: Daniel Valentin Award 2011

Le thème MS développe des collaborations au sein de l'Institut Pascal avec des membres d'autres axes dans le cadre des actions du programme transversal (Méthodes Probabilistes, Matériaux Actifs et Intelligents...).

Projets collaboratifs académiques

Le tableau ci-dessous présente la liste des projets de recherche académiques, avec collaborations industrielles pour la majorité d'entre eux :

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thème	
Nationaux	ANR	MEDITOSS	C	2009-2013	Diagnostic de tunnels et ouvrages souterrains en service.	
	ANR	DEMETHER	P	2011-2015	Matériaux biosourcés pour isolation thermique de bâtiments.	
	ANR	CLIMBOIS	C	2013-2017	Effets des variations climatiques et mécaniques sur la durabilité des structures bois.	
	ANR	ANIM	P	2010-2014	Matériaux architecturés.	
	ANR	INCERDD	P	2011-2014	Prise en compte des incertitudes pour des décisions durables.	
	ANR	SISBAT		2009-2013	Vulnérabilité sismique du bâti existant. <i>En partenariat avec le thème MPMS de l'Axe MMS.</i>	
	Région Projet Nouveau Chercheur	COMBAT	C	2010-2013	Composites à base de bois auvergnat.	
	GDR	TIMEX	P	2014-2016		
	GDR	DIC Challenge	P	2011-2014	Test des performances de logiciels de corrélation d'images.	
	GDR	Sciences du Bois	P	2011-2014	Matériaux, Structures et Imagerie.	
	Région FEDER	AGROBETON I	C	2009-2012	Thèse Nozahic.	
	Région FEDER	AGROBETON II	C	2012-2015	Thèse Niyigena.	
	Irstea Région	SOLIQUID	P	2012-2015	Thèse Quignon.	
	Région FEDER	ECOGRAFI	C	Fin 2015	Matériaux granulaires et matériaux fibreux biosourcés.	
	CPER	Innov@Pôle	P	2007-2011	Caractérisation des sols et boues.	
	MEDD C2D2	Hydrofond	P	2011-2013	Hydrodynamique des géomatériaux de fondation immergés.	
	MEDD Gessol	ANCRES	P	2010-2012	Mise en place d'indicateur pour gestion du potentiel épurateur des sols.	
	Internationaux	Européen	INNOTRACK	P	2007-2010	Méthodologie de diagnostic des tunnels et ouvrages souterrains en service.
		PHC CAI YUANPEI (Chine)		P	2012-2014	Structures mixtes et assemblages.
		COST	C26	P	2006-2010	Urban habitat constructions under catastrophic events.
COST		TU0904	P	2010-2014	Integrated fire engineering and response.	
COST		FP1402	P	2014-2018	Basis of structural timber design - from research to standards.	
COST		FP1403	P	2014-2018	Non-native tree species for european forests - experiences, risks and opportunities.	
COST		FP1404	P	2014-2018	Fire safe use of bio-based building products.	

Production scientifique

✓ Communications écrites

- 219 ACL : différentes revues reconnues du domaine, principalement Engineering Structures, Experimental Mechanics, Construction and Building Materials,...
- 33 OS : Livres (1) - Chapitres de livre (29)
- 238 ACTI : en congrès reconnus, principalement Eurosteel, SEMC, SEM, WCTE...
- 108 ACTN
- 18 ACLN

✓ Communications orales

- 11 INV
- 88 COM
- 23 AFF

✓ Rapports scientifiques

Les membres du thème ont produit un grand nombre de rapports pour répondre aux exigences contractuelles des projets (ANR, contrats...) en phases intermédiaires ou finales.

Bilan de la production scientifique

Le bilan de la production scientifique du thème MS peut être synthétisé dans le tableau ci-dessous. Il montre une évolution régulière dans le temps, notamment pour les ACL et les ACTI. Les membres ont assuré plusieurs communications orales dans des organismes et congrès nationaux et internationaux.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total	Total/ETP
ACL	30	37	37	54	39	22	219	13,5
ACLN	5	5	6	2			18	1,1
ACTI	46	40	25	55	50	22	238	14,6
ACTN	30	21	11	18	19	9	108	6,5
INV	5	1	1	2	2		11	0,7
COM	18	11	9	21	24	5	88	5,2
AFF	3		3	6	11		23	1,4
OS	4	13	2	9	3	2	33	2,1
OV	1						1	0,1

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

Les membres de l'axe et du thème ont un très fort rayonnement scientifique et d'animation que ce soit au niveau régional, national et international. On peut souligner pour la période de référence (2010-2015) :

- Participations à des comités éditoriaux ou scientifiques de 8 revues scientifiques.
- Expertise d'articles pour 66 revues scientifiques différentes.
- Participation à 40 comités scientifiques de conférences internationales.
- Présidence de sessions dans 14 conférences internationales et participation dans de nombreux comités d'organisation de conférences.
- 37 séminaires sur invitation dont 30 à l'étranger.
- Participation à 16 instances nationales et 4 instances internationales d'évaluation de l'enseignement et/ou de la recherche.
- Une participation forte à des jurys de thèse (25 localement et 107 au niveau national et international) et d'HDR (5 localement et 13 au niveau national).

✓ Invitations et attractivité internationales

Collaborations internationales

Les membres du thème développent plusieurs collaborations internationales à travers des thèses en co-tutelle ou co-encadrement (Debska, Pologne ; Bubulinca, Roumanie ; Chaiamarit et Jongchansitto, Thaïlande ; Barrera, Italie ; Attari, Beneghadi, Benlakehal, El Mahi, Hedjazi, Kada, Si Youcef, Soltani, Algérie ; Mezghanni, Tunisie ; Djoubissie, Burkina Faso). Une autre forme de collaboration se fait à travers des projets collaboratifs (DIC Challenge USA, Round Robin test Belgique, Rhéologie des bétons et Matériaux Biosourcés, Queens University of Belfast, University degli Studi di Padova, Italie ; structures bois et mixtes, Dalian, Chine). (Liste exhaustive en Annexe 6.3 (Annexes Institut Pascal).)

Accueil d'étudiants étrangers

En plus des thèses co-encadrées et en cotutelle, les membres du thème MS accueillent régulièrement des étudiants étrangers dans le cadre des séjours scientifiques (thèses étrangères, masters Erasmus ou autres, conventions bilatérales, projets collaboratifs, ...). Sur la période 2010-2014, le thème a accueilli plus de 24 étudiants de Master et doctorants pour des séjours allant de 1 à 18 mois.

Accueil d'enseignants chercheurs étrangers

Les membres du thème MS accueillent régulièrement des enseignants-chercheurs étrangers (jeunes et confirmés) dans le cadre des conventions bilatérales, des échanges Erasmus et des projets collaboratifs. Ainsi, sur la période 2010-2014, le thème a accueilli plus de 12 enseignants-chercheurs venant de 10 pays (Algérie, Chili, Chine, Gabon, Grande Bretagne, Maroc, Roumanie, Slovaquie, ...) pour des séjours allant d'une semaine à 5 mois.

✓ Conventions bilatérales

Les échanges internationaux se font en partie dans le cadre de conventions bilatérales ou Erasmus (mobilité étudiante et enseignants). Les conventions bilatérales dans lesquels le thème MS est impliquée sont les suivantes. La quasi-totalité de ces conventions sont initiées et portées par des membres du thème MS :

- Université Tlemcen (Algérie)
- Université de Mendoza (Argentine)
- Université Brasilia et Goiania (Brésil)
- ZIE Ouagadougou (Burkina Faso)
- Université de Valparaiso (Chili)
- Université des Sciences et Techniques de Masuku (Gabon)
- Ecole Hassania des Travaux Publics (Maroc)
- Queens University de Belfast (Grande Bretagne)
- USTEB Budapest (Hongrie)
- Université Libanaise de Beirut (Liban)
- Université Polytechnique de Cracovie (Pologne)
- LNEC Lisbonne (Portugal)
- Politechnica Timisoara (Roumanie)
- Université d'Alep (Syrie)
- Université de N'djamena (Tchad).

Les conventions Erasmus portées par des membres du thème MS sont les suivantes : Aveiro, Belfast, Bratislava, Budapest, Cracovie, Liège, Prague, Shieffield, Timisorara, Zilina.

Au niveau national, les membres du thème ont participé au co-encadrement de 6 thèses de doctorat. Au niveau international, les membres participent activement au co-encadrement de 10 thèses de doctorat avec les pays d'origine des doctorants. Les doctorants sont accueillis au sein de l'Institut Pascal de façon régulière pour assurer le suivi scientifique de leurs travaux. En majorité, ils ont des positions d'assistant dans leurs universités respectives.

✓ Prix et Distinctions

Karine Charlet, Prix Jeune Chercheur AMAC 2012.

Michel Grédiac, B.J. Lazan Award, SEM 2015.

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation

Participation à des comités éditoriaux

Des membres du thème sont membres de comités éditoriaux de revues nationales (2) et internationales (6).

Participation dans des comités scientifiques et/ou d'organisation de conférences nationales et internationales

Plusieurs membres du thème MS participent régulièrement à des comités scientifiques ou comités de pilotage de congrès nationaux et internationaux de grandes audiences. Ceci témoigne de la grande reconnaissance des travaux des collègues dans leurs domaines de compétences. Ainsi, on peut recenser la participation à des comités scientifiques de nombreux congrès dont 40 internationaux. Les membres du thème ont organisé 1 congrès international (ICBBM 2015 Clermont-Ferrand) et ont co-organisé 4 congrès internationaux (Cicomm2015 Algérie, RSS2014 Maroc, ...) et 6 séminaires ou congrès nationaux (LOA Irstea Aix en Provence 2014, JTG 2010 Clermont-Ferrand, JC ECCB 2013 Nevers, TICMSGC 2014 Clermont-Ferrand, AUGC 2010 La Bourboule, Journées GDR bois Clermont-Ferrand 2015).

En plus des congrès ou séminaires organisés ou co-organisés, les membres du thème ont participé à de nombreux comités d'organisation de congrès internationaux (COST Workshop Bordeaux 2014,...) et congrès ou séminaires nationaux.

Présidences de sessions

Plusieurs membres du thème MS ont présidé des sessions dans des congrès nationaux et internationaux (14), établis et reconnus dans leurs domaines scientifiques et organisés en Algérie, Afrique du Sud, Canada, Chine, Grande Bretagne, Hongrie, Italie, Maroc, Slovaquie...

Séminaires de recherche sur invitation

La reconnaissance scientifique des membres du thème MS se traduit par l'animation de séminaires de recherche sur invitation dans des structures ou des directions de recherche en France (7 : EDF Les renardières, Limos Clermont-Fd, Larmaur Rennes, Constellium Voreppe, ...) et à l'étranger (30 : California Institute of Technology, Univ. Southampton, Ecole Royale Militaire Bruxelles, KAUST Djeddah, Politecnico di Milano Chiang Mai University Thailand, Univ. Chlef, Alger, Univ. Dalian Chine, Swedish Construction Industry, Johannesburg, Ndjamena Tchad, Ouagadougou Burkina Faso, Franceville Gabon, US Laboratory Research Army (LRA), Ecole Polytechnique de Turin, ...).

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

Des membres du thème MS sont présents dans les réseaux de recherche tels que l'AUGC (secrétariat du CA et présidence du CS), l'AFM, l'AFPS...

✓ *Expertises*

La quasi-totalité des membres du thème MS ont expertisé de façon régulière des articles dans plus de 66 revues scientifiques dont la grande majorité sont indexées ISI Web of Science. A ces expertises s'ajoutent celles des communications de congrès.

Les membres du thème MS ont participé à l'évaluation de plusieurs projets pour des organismes nationaux (ANR, AERES, HCERES, CETU, CNU, HRERES LAMCOS Lyon, C2D2 Concevoir et construire pour le développement durable) et internationaux (Czech Science Foundation, FNRS Belgique, FRQNT Québec, Univ. Louvain Belgique,...).

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Les membres du thème MS sont actifs dans les actions de valorisation de la recherche et de collaboration avec le milieu socio-économique. Quelques cadres et actions sont listés ci-après.

- Participation à différentes structures d'échanges et de valorisation des actions scientifiques, de formation et technologiques (réseaux : Agera, Maceo, ViaMéca...).
- Journées portes ouvertes de l'université.
- Journées scientifiques spécialisées (exemple journée en partenariat avec Auvergne Promobois, 13/12/2013 Recherche et Innovation – une nécessité pour la filière bois).
- Participation aux journées nationales associant universités et entreprises (exemple : Durif et Llanca RGCU FNTP 11/2012).
- Membre fondateur et participation active au réseau MECD (Matériaux et équipements pour la Construction Durable) associant 5 laboratoires universitaires et 5 centres technique. Le réseau organise un séminaire annuel ouvert aux partenaires économiques.
- Participation des membres à différentes structures (AFPS, rédactions de normes, formation continue, ...).
- Participation à des séminaires nationaux de vulgarisation (exemple APK).
- Echanges réguliers avec Syntec (participation au jury finalistes "ingénierie du futur") juin 2011.
- Rédaction de guides : guide technique européen (Fire safety in Timber buildings) 2010.
- Membre fondateur de l'Association Construction Bio sourcés du pays d'Auvergne, réunissant universitaires, industriels des matériaux, architectes et constructeurs.

Plusieurs membres participent aux travaux de recherche-valorisation avec plusieurs entreprises régionales ou nationales (CTICM, Viry, Valmont, Gagne, Sol Solution, SNCF, Veolia,...) en s'appuyant sur les moyens des Plateformes de transfert technologique des écoles d'ingénieurs Polytech et IFMA (MSGC et 2MATECH).

Le thème a été à l'origine de la création de l'entreprise Sol-Solution. Actuellement, le thème mène des travaux réguliers avec cette entreprise (5 salariés dont plusieurs docteurs). Ainsi, des thèses sont financées à travers des bourses CIFRE en plus des Masters et des participations communes à des projets de recherche. Elle a également participé au développement de trois appareils : Panda 1, 2 et 3 (brevets), un géo-endoscope et un perméamètre léger. Le thème a contribué à 3 brevets avec l'entreprise sol-solution en 2013 et 2014.

Les membres du thème MS participent à de nombreuses formations au niveau national et international (voir Annexe 6.3 (Annexes Institut Pascal)). Ceci concerne aussi bien dans la formation spécialisée dans des cursus de Master ou la formation continue de courte ou longue durée.

✓ *Production*

- 6 BRE
- Plusieurs rapports de contrat.

✓ *Liste des contrats*

	Type	Dates	Thème	Partenaires
Nationaux	CIFRE	2011-2014	Performances et modélisation de flexibles de déchargements en mer de produits pétroliers.	TRELLEBORG
	CIFRE	2011-2014	Caractérisation thermomécanique d'élastomères par mesure de champs sans contact.	MICHELIN
	CIFRE	2006-2010	Assemblage de structures bois sous incendie.	CSTB
	CIFRE	2007-2011	Structures mixtes acier-béton sous incendie.	CTICM
	CIFRE	2011-2014	Micropieux : méthode de contrôle systématique de portance.	Sol Solution et FNTP
	CIFRE	2008-2011	Comportement dynamique d'un massif en sol renforcé par géotextile.	Sol Solution
	CIFRE	2011-2014	Exploitation Panda 3.	Sol Solution
	CIFRE	2015-2018	Spécialisation des modèles géotechniques de sols.	Sol Solution
	Thèse (*)	2013-2016	Analyse fiabiliste des barrages en remblai.	Irstea
	IND	2014	Fatigue d'assemblages soudés.	ARCELOR MITTAL
	IND	2011-2012	Assemblage de structures bois sous incendie.	CSTB
	IND	2005-2011	Diagnostic des ANC.	ANC Véolia
	IND	2011-2014	Méthodologie de contrôle des place des micropieux.	FNTP
	IND	2011-2014	Etude des ondes de choc dans les milieux granulaires.	Sol Solution
	IND	2009-2012	Mécanismes de variabilité du tassement du ballast.	SNCF
	IND	2010-2011	Influence de la variabilité des propriétés mécaniques d'une structure ferroviaire.	SNCF
	IND (**)	2013-2014	Matériaux Biosourcés.	VICAT
	IND (**)	2012-2015	Matériaux Biosourcés.	CHANVRE AUVERGNE
	IND (**)	2014	Matériaux Biosourcés.	SAINT ASTIER
	IND (**)	2012	Matériaux Biosourcés.	SIKA
	IND (**)	2014	Matériaux Biosourcés.	HEMP ECO SYSTEM
	IND (**)	2014	Matériaux Biosourcés.	CALCI CHAUX
	IND (**)	2014	Matériaux Biosourcés.	GDA LOCHES

(*) : collaborations industrielles sans flux financier vers l'entité de recherche autre que le support budgétaire finançant le chercheur.

(**) : contrat de nature expérimentale. Les flux financiers sont passés avec la plateforme MSGC.

Analyse SWOT

Forces

Le thème MS rassemble 33 EC appartenant à plusieurs unités d'enseignement de l'Université Blaise Pascal (IUT Montluçon, UFR Sciences et Technologies, et Polytech Clermont-Ferrand), de l'IFMA et de l'Université

d'Auvergne. Parmi les EC, 16 sont HDR (11 PR et 5 MCF) et 17 sont MCF. Parmi ces membres, 9 (8 PR + 1 MCF) ont actuellement la PEDR ou la PES.

Bilan scientifique

Le thème MS totalise plus de 200 publications internationales dans de nombreuses revues ACL, ce qui montre la richesse de l'activité et la reconnaissance scientifique que l'équipe a pu obtenir. Sur la période de référence, les membres de l'équipe ont présenté plus de 230 communications dans des conférences internationales et plus de 100 en conférences nationales. Ils ont participé à la rédaction de plusieurs chapitres d'ouvrages ou ouvrages et ont rédigé des guides ou documents de vulgarisation (voir liste des publications – Annexe 6.3). A noter que la production du thème a évolué de façon encourageante sur les 5 dernières années. Pour les thèses de doctorat, au 30 juin, le thème compte 30 doctorants, dont 2 communs avec les thèmes MMSI et MPMS. Parmi ces doctorants, 9 ont démarré après janvier 2014, ce qui montre une bonne dynamique. Sur la période de référence 2010-2014, le thème a fait soutenir 36 thèses dont 11 financées par contrats CIFRE ou bourses industrielles et 7 en co-tutelle. En relation avec les travaux de thèse, le thème participe à des contrats avec l'industrie (Arcelo Mittal, CTICM, CSTB, Irstea, Michelin, SNCF, Sol Solution, Veolia), des ANR et des projets européens. Plusieurs de ses membres sont invités à des congrès internationaux et participent à l'évaluation d'articles scientifiques dans des revues internationales ainsi que de projets au niveau national et européen. Au niveau des relations internationales, des thèses sont réalisées dans le cadre de co-tutelles ou co-encadrements, les membres participent à la formation dans différents pays et gèrent des projets bilatéraux avec des partenaires étrangers. L'équipe a fait soutenir 6 HDR dont une par un chercheur du CSTB (Paris). Le thème participe à un GDR (Bois) et un GIS risque Génie Civil.

Transversalité

L'animation scientifique du thème repose sur des séminaires dont plus de la moitié est organisée en commun avec les thèmes MPMS et MMSI. Les membres du thème (EC et Doctorants) plus des invités (INRA, Cemagref) se réunissent pour débattre d'un ou plusieurs sujets parmi ceux développés par le thème. Certains séminaires sont animés par des chercheurs invités. Une priorité est donnée aux thèmes avec un fort potentiel de mobilisation de coopération entre membres de l'équipe.

Faiblesses

Le niveau de participation à des projets européen et contrats industriels est à améliorer. Un travail est à faire pour intégrer les nouveaux membres notamment ceux travaillant sur des thématiques émergentes. Aussi, les collaborations transversales sont à encourager et à développer au sein de l'IP, entre Axes, et au sein de l'Axe MMS, entre thèmes MMS. Un effort est à mener pour permettre aux jeunes enseignants chercheurs d'encadrer des thèses rapidement après leur intégration dans le thème.

Opportunités

Le thème dispose d'un potentiel humain riche avec un environnement expérimental de premier plan. Il a une richesse forte au niveau des échelles d'analyse avec combinaison modélisation-expérimentation et une diversité des champs scientifiques qui lui permettent de coopérer avec différents partenaires universitaires et entreprises. Il a accueilli plusieurs jeunes enseignants-chercheurs nouvellement recrutés qui permettront de renforcer son potentiel.

Risques

Compte tenu de la taille du thème, il existe un risque de dispersion des activités. Cependant, nous travaillons pour limiter ce risque à travers une organisation en groupes scientifiques à taille raisonnable (moyenne de 5 permanents). Un autre risque lié à la dispersion vient des travaux de recherche avec le milieu économique qui constituent une opportunité mais risquent de pousser vers des actions à court terme plutôt que vers des visions de moyen et long termes.

1.2.3.2. Thème MMSI

Personnels

3 PR, 8 MCF, 4 MCF-HDR

Nicolas BOUTON (MCF60, IFMA), Chedli BOUZGARROU (MCF60, IFMA), Christophe CAUX (MCF61-HDR, IFMA), Hélène CHANAL (MCF60-HDR, IFMA), Frédéric CHAPELLE (MCF60, IFMA), Olivier DEVISE (MCF61, IFMA), Emmanuel DUC (PR60, IFMA), Séverine DURIEUX (MCF61, IFMA), Jean-Christophe FAUROUX (MCF60-HDR, IFMA), **Vincent GAGNOL** (MCF60, IFMA), Grigore GOGU (PR60, IFMA), Anne-Lise HUYET (MCF61, IFMA), Khalid KOUISS (MCF61, IFMA), Jean Luc PARIS (PR61, IFMA), Pascal RAY (PR60, IFMA, départ en 2014), Laurent SABOURIN (MCF60-HDR, IFMA)

Associés (4)

Matthieu ALRIC (Dr, Ing.), Flavien PACCOT (Prag), Khaled ARROUK (Dr.), Omar DERRICHE (MCF60, IFMA)

Doctorants [retrouver les financements des manquants](#)

Thèses soutenues (17 dont 1 commune avec thème MACCS/ISPR - avec année de soutenance) : Maksood AHMAD (SFERE, 2013), Khaled ARROUK (Bourse Franco-Syrienne, 2012), Buschra BASCHIR (SFERE, 2013), Mahmoud CHAKROUN (ANR PRECODD ECODEFI, 2011), Imad CHALFOUN (Bourse Syrie, 2014), Nabil ESSAHBI (ANR, 2014), Fabien FORESTIER (FUI FGW, 2011), Gregory GUIRE (SRD Viande, 2012), Benjamin HATTON (FUI ECOMEF, 2014), Hendriko HENDRIKO (collaboration internationale, 2014), Jean-Charles HUET (CHU Clt-Fd, 2011), Julien LE FLOHIC (MRT, fevrier 2015), Carole MARTIN (AMN, nov. 2010), Georges PAGIS (ANR ARMS, janv. 2015), Vincent SOULIGNAC (Irstea, 2012), **Kevin SUBRIN (MACCS/ISPR)** (CPER Innov@P  le, 2013), Guillaume TROUVAIN (IFMA/Michelin, 2015)

Thèses en cours (22 dont 1 commune avec MPMS et 1 commune avec MS - avec année prévisionnelle de soutenance) : Marie Fidèle AIMEDEE (LabEx, 2015), Aurélie BENTI (bourse ministérielle, 2015), Nadège BENKAMOUN (LabEx IMobS3, 2015), Zine Elabidine CHEBAB (Bourse LabEx IMobS3, 2017), Richard COUSTURIER (Bourse Région Auvergne/FEDER, 2015), Marc DAVIS (TIMS V2I, 2015), Laurent DELOLME (Indus, 2016), Romain DENEFFLE (Ademe, 2016), Charles FORTUNET (Corac, 2017), Benoit GELY (CIFRE, 2017), David GOUBET (FUI ECOMEF, 2015), Bastien GUICHARD Aubert & Duval, 2017), José GUTIERREZ (campus france, 2015), Sami HASSINI (FUI, 2015), Bassem HICHRI (LabEx, 2015), Ziad IMAM (CHU, 2018) , **Seifeddine MEJRI (MPMS)** (LabEx IMobS3, 2015), **Adel MEKAOUCHE (MS)** (bourse IFMA, 2015), Saïd MOUSAVI (EquipEx ROBOTEX, 2015), Johan ROYER (CHU Clt-Fd), Marwa SAAIDIA (FUI renault Trucks, 2016), Lazher ZAIDI (EquipEx ROBOTEX, 2015).

HDR présentée

Hélène CHANAL (2011), Laurent SABOURIN (2012), Jean-Christophe FAUROUX (2015)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels (3)

Jamil DAKHLALLAH (PD ANR FAST, 2009-2010), Liang JU (PD Région Auvergne, dans le cadre du projet de recherche RobCAT, 2011-2012), Mohamed KRID (PD EquipEx ROBOTEX dans le cadre du projet de recherche C3Bots, 2013-2014)

Collaborateurs administratifs

Jacqueline GORSE (UBP), Marion LUCAZEAU (IFMA)

Identité scientifique

Les recherches menées au sein du thème MMSI : Machines, Mécanismes, et Systèmes Industriels portent sur les développements méthodologiques de synthèse structurale, de modélisation et d'optimisation des machines, mécanismes, robots et systèmes industriels. Le spectre large des compétences et des domaines scientifiques du thème MMSI permet d'aborder les sujets d'étude dans leur globalité par des approches pluridisciplinaires, associant au point de vue mécanicien les points de vue organisationnels liés au pilotage des systèmes industriels. Les travaux de recherche sont à la fois théoriques et finalisés sur les machines, mécanismes et robots et plus largement dans les systèmes de production en intégrant la modélisation de leur comportement et l'applicabilité à la tâche. Des réponses globales sont apportées aux évolutions des systèmes industriels, pour garantir un très haut niveau de performance dans des environnements contraignants et variables. Cette variabilité peut être liée à des évolutions de tâches, de morphologie de pièces ou d'organisation pour les systèmes mécaniques. Pour les systèmes industriels, elle est essentiellement due à des facteurs socio-économiques qui imposent aux entreprises européennes d'augmenter leur niveau de performance et d'adaptabilité pour concurrencer les pays à bas coût.

L'ensemble de ces exigences est regroupé dans le concept d'agilité pour garantir aux systèmes complexes d'étude, que ce soit une machine, un robot, une cellule robotisée ou un système industriel, la réussite de missions évolutives avec une performance accrue. L'agilité suppose le développement conjoint d'un

système mécanique, d'un ensemble de capteurs d'état, d'une commande intelligente et réactionnelle, ainsi que de méthodes de mise en oeuvre et d'exploitation. Ce qui induit une approche transdisciplinaire étroite. Le concept d'agilité est abordé suivant trois groupes scientifiques :

- Synthèse des mécanismes et des robots (SMR).
- Etude du comportement en conditions réelles des systèmes complexes (CRSC).
- Excellence opérationnelle des machines et systèmes industriels (EOMS).

- **Synthèse des mécanismes et des robots**

L'objectif est de proposer une démarche systématique pour la synthèse structurale et la synthèse dimensionnelle des mécanismes complexes. La synthèse structurale vise à trouver les architectures mécaniques répondant aux paramètres structuraux requis, notamment par des critères de mobilité développés récemment pour les mécanismes parallèles, par la généralisation de la morphologie évolutionniste et par l'emploi de bases de connaissances sur les mécanismes développées au sein de l'équipe. La synthèse dimensionnelle permet, dans un second temps, de compléter le modèle du mécanisme (longueurs, matériaux...) et d'optimiser son comportement selon de nombreux critères (rigidité, fréquences propres, stabilité...). Pour finir, la synthèse de lois de commande avancées permet, notamment pour les robots reconfigurables, d'éviter ou de traverser les singularités et d'augmenter l'espace de travail atteignable et/ou offrir des possibilités de reconfiguration de mécanisme. Ce groupe scientifique vise à développer des concepts innovants de mécanismes, des robots à hautes performances ainsi que des machines à propriétés structurales spécifiques (redondance, reconfigurabilité, modularité, kinématotropie...).

- **Etude du comportement en conditions réelles des systèmes complexes**

L'objectif est de proposer une démarche de conception des mécanismes commandés adaptée à la tâche à effectuer, à partir de la prédiction et la maîtrise du comportement réel des systèmes mécaniques complexes. Cette démarche repose sur la modélisation cinématique et dynamique de la structure, en intégrant les non-linéarités d'interfaces entre pièces et les comportements de la commande et du procédé. L'originalité de l'approche vient du couplage entre la machine et le procédé qui permet de proposer une machine optimisée. Le point de vue lié à la phase de conception de la structure impose la proposition de modèles rapides et précis particulièrement dédiés. Les machines d'usinage, les machines à structure parallèle et les robots sont abordés indifféremment.

- **Excellence opérationnelle des machines et systèmes industriels**

Restaurer la compétitivité de nos industries passe par la création de systèmes capables de répondre aux besoins changeants et exigeants du marché tout en gardant un bon niveau de productivité. L'objectif est d'atteindre une excellence opérationnelle dans toutes les situations. L'excellence opérationnelle est une démarche systématique et méthodique menée pour maximiser les performances en matière de productivité, de qualité des produits et de réduction des coûts, et plus généralement de performance. Notre équipe contribue à cet effort en développant des méthodes novatrices et pluridisciplinaires tant pour la partie machines et systèmes industriels que pour l'intégration de la composante humaine (en terme de compétences). L'originalité de notre approche repose en partie sur notre capacité à intégrer un contexte incertain et/ou changeant dans le développement de ces méthodes, que ce soit pour optimiser des trajectoires, dans le pilotage ou la conception de systèmes complexes.

Contexte

Le thème MMSI et plus largement l'Institut Pascal sont reconnus comme un acteur du réseau des plateformes robotiques du CNRS sur les problématiques de la robotique mobile terrestre et la robotique de production. Les recherches développées s'inscrivent dans le cadre des 32ème et 34ème plans de reconquête de "la Nouvelle France Industrielle" sur la Robotique et l'Usine du Futur.

Les travaux sont en parfaite adéquation avec les objectifs de l'Axe "Sciences pour l'Ingénieur au service des Systèmes Performants et Intelligents" de CAP2025 I-SITE. Cet axe est structuré autour de trois grandes thématiques : "Matériaux et composants", "Machines, Robots et Procédés" et "Systèmes organisationnels et aide à la décision". Ils s'inscrivent pleinement dans la thématique "Machines, Robots et Procédés" à travers son ambition de mise au point de machines agiles et reconfigurables.

Les travaux développés par le thème MMSI sont bien articulés avec la Stratégie de Spécialisation Intelligente (S3) et plus précisément dans le Domaine d'Innovation Stratégique DIS5 des "Systèmes intelligents et performants". Le DIS5 vise à renforcer les compétences et les capacités d'intégration et d'ingénierie en matière de machines intelligentes et de systèmes de production performants, pour améliorer la

compétitivité du tissu industriel auvergnat et développer une offre à l'export. Cette ambition rejoint les objectifs du projet.

Les travaux du thème MMSI sont très fortement couplés au Laboratoire d'Excellence IMobS3, de l'Équipement d'Excellence Robotex reconnaissant la place clermontoise comme nœud national de robotique et de la mise en place de la plateforme mutualisée d'innovation SPriNG centrée sur les "Systèmes et Procédés Intelligents pour la robotique et la production" portée par le pôle de compétitivité ViaMéca.

Les travaux de recherche s'appuient sur une plateforme expérimentale sur le site permettant de valider les concepts et de transférer les résultats sur site industriel en situation de production. La période 2010-2015 a vu un renforcement du plateau expérimental du laboratoire dans les domaines de la manipulation dextre et de l'usinage robotisé, via l'acquisition d'un robot bi-bras Kuka LWR doté d'une main dextre Shadow, de caméras rapides, et d'une centrale d'acquisition pour caractériser le comportement dynamique des machines. Ces matériels ont été acquis dans le cadre du projet ROBOTEX. Ces équipements renforcent la position de référence du laboratoire dans le domaine des machines pour l'usinage et nous permettent de participer à des collaborations avec d'autres laboratoires français, comme l'IRRCyN et le LIRMM, dotés de plateformes robotiques de production ROBOTEX. Ces moyens expérimentaux nous ont permis de valider expérimentalement nos travaux de modélisation des machines et d'optimisation des trajectoires. En particulier, les travaux ont porté sur la modélisation de cellule robotique à architecture hybride avec des redondances distribuées (8ddl) d'usinage et de parachèvement (Thèse de Robin, Eureka SANDCAST, voir [ACL10-030], et les thèses de Subrin et Cousturier [ACL14, ACL15]).

Réalisations

- **Groupe scientifique : synthèse des mécanismes et des robots**

Problématiques

- Conception amont, innovation, créativité.
- Outils d'analyse et de synthèse des mécanismes.
- Méthodes et outils de pré-conception des mécanismes, machines et robots.
- Dimensionnement et commande optimale des machines et robots.

Pour répondre aux questions

- Comment concevoir une machine pour une tâche précise ?
- Quelle est la meilleure architecture mécatronique pour une machine ou robot ?

Domaines scientifiques

Dans le processus de conception d'une machine, d'un mécanisme ou d'un robot, la synthèse structurale est l'opération permettant de passer d'une expression fonctionnelle des capacités souhaitées pour la machine à la description d'une ou plusieurs solutions possible, à minima par un modèle cinématique qualitatif (nature et ordre des liaisons, angles relatifs...) compatible avec ces fonctions. Après l'étape de synthèse structurale, la synthèse dimensionnelle permet d'enrichir un modèle cinématique par des informations supplémentaires (longueurs, matériaux...) pouvant affecter des propriétés cinématiques (trajectoires, orientations, espace de travail...) ou statiques et dynamiques (résistance, rigidité...). Quatre activités scientifiques sont investiguées :

Capitalisation du savoir sur la structure des machines

L'équipe développe des bases de données contenant des descriptions précises d'un grand nombre de machines (livres, brevets, schémas, modèles 2D, modèles CAO 3D...), à la fois pour préserver la connaissance (projet EU thinkMOTION), favoriser leur enseignement (projet EU CLEM) et cartographier l'existant dans le domaine des machines, ce qui passe par une classification précise, analogue à la classification générale du vivant et encourage à la réutilisation des solutions performantes pour les tâches de conception routinière.

Nouveaux outils d'analyse pour la synthèse

Des formules de calcul de la mobilité, connectivité, hyperstatisme et redondance structurale, dépassant les limitations des formules classiques de Tchebychev-Grübler-Kutzbach, ont été proposées dans nos travaux publiés pendant la période 2004-2008. Elles permettent des calculs exacts sur les mécanismes à structure parallèle, qui sont appréciés pour leur rapport rigidité/masse élevé et très utilisés en robotique industrielle (projets EU DEXDEB, robots Isoglide, 3CRS...) et dans le domaine des suspensions de véhicules (projets ANR FAST, projet OpenWHEEL). Ces formules sont indispensables pour le développement de nouvelles méthodes de synthèse à base de graphes. Par ailleurs, des méthodes originales d'analyse géométrique et cinématique des mécanismes parallèles par outils CAO ont été proposées pour caractériser leurs espaces de travail, singularités et modes d'assemblage (thèse K. ARROUK).

Méthodologies de synthèse de mécanismes

Nous travaillons à l'enrichissement des méthodes existantes de conception créative préliminaire (par exemple Triz), en développant de nouvelles approches telles la morphologie évolutionniste. En amont de la CAO, des travaux actuels (projet FUI ECOMEF) ont permis de proposer de nouveaux outils de bases de connaissances permettant de capitaliser, structurer, encourager et garder trace de la démarche créative au sein d'un projet industriel (thèse D. GOUBET). Nous souhaitons également proposer des méthodes de conception s'appuyant sur les bases de données de mécanismes.

Machines à propriétés structurales spécifiques (redondance, reconfigurabilité, modularité, kinématotropie...)

Nos travaux permettent de concevoir des machines dotées de propriétés avantageuses telles que la redondance structurale et la modularité. On peut ainsi concevoir des robots manipulateurs sériels pouvant reproduire le travail à deux mains (projet ANR ARMS) ou se faufiler avec agilité (thèses ALRIC, MARTIN) ; des manipulateurs parallèles reconfigurables capables d'éviter des singularités (robot 3RPR) ; des robots mobiles redondants et agiles pouvant s'adapter à la charge à transporter ainsi qu'à l'environnement et aux obstacles (projet LabEx C3Bots). Par ailleurs, nous étudions certaines machines aux propriétés originales telles que la kinématotropie (changement de degré de mobilité et/ou connectivité de l'organe terminal au passage de certaines positions singulières), le changement de mode d'assemblage sans passer par des configurations singulières (robot 3CRS, thèse AIMEDDEE), l'arc-boutement roulant qui permet la locomotion ascensionnelle sans consommation énergétique à l'arrêt (contrat Thalès et robot Pobot), la recherche d'un actionnement minimal (robot OpenWHEEL i3R) ou enfin l'intégration de matériaux actifs et de pièces flexibles (thèse MEKAOUCHE).

Réalisations

Les applications de ces deux activités de synthèse structurale et dimensionnelle visent notamment les robots manipulateurs, les machines d'usinage, les mécanismes de suspension, les véhicules robotisés et les robots déployables pour les interventions neurochirurgicales, les robots pour la découpe/désossage et séparation des muscles dans l'industrie de la viande.

- **Groupe scientifique : étude du comportement en conditions réelles des systèmes complexes**

Problématiques

- Modélisation et identification.
- Expérimentation et recalage de modèles.
- Simulation à faible temps de calcul.

Pour répondre aux questions:

- Comment se comporte une machine ?
- Comment améliorer les performances au regard de la tâche à réaliser ?
- Comment concevoir une machine optimisée ?

L'optimisation des performances pour la réalisation de tâches complexes des machines d'usinage, des robots manipulateurs, des véhicules robotisés et des mécanismes de locomotion impose une connaissance très précise du comportement mécanique. L'activité scientifique du groupe scientifique porte sur le développement de modèles de comportement robustes et fiables, couplés à des lois de commande avancées et à l'identification géométrique, statique, cinématique et dynamique des machines et des mécanismes. Deux activités scientifiques sont abordées :

Modélisation, commande et identification du comportement des machines

Dans le domaine des machines-outils, des robots d'usinage et de manipulation, le développement de modèles de comportement précis, fiables et robustes suscite une attention croissante des praticiens industriels et des chercheurs. La modélisation, la commande et l'identification des comportements en service sous sollicitations dynamiques (usinage, parachèvement, découpe, manipulation,...) requiert le développement d'outils numériques et analytiques pour prédire et optimiser les performances et formaliser des règles de conception. Les recherches développées dans cette activité sont génériques et permettent de traiter les différentes architectures cinématiques de machines : sérielles cartésiennes ou anthropomorphes, pleinement parallèles ou hybrides (Thèses FORESTIER, SUBRIN, COUSTURIER). La modélisation est indissociable de l'identification dans une approche orientée comportement réel. Il est donc nécessaire de développer des outils d'identification spécifiques aux typologies de modèles proposés afin de les valider ou de les corriger par recalage. L'originalité des travaux de recherche porte sur le développement de modèles globaux de la structure complète en réduisant le paramétrage, via une identification dans les conditions de réalisation de la tâche afin de développer des lois de commande avancées robustes et précises, ainsi seuls les comportements influant la réalisation de la tâche sont pris en compte (Thèse MEJRI). L'identification opérationnelle, dans les conditions de service de la machine ou du

robot considéré, d'un modèle de comportement adaptatif permet de contrôler en temps réel les performances du procédé, et représente un enjeu scientifique important. Des travaux sont également développés sur la modélisation multizone pour le traitement de grandes pièces et sur les robots d'usinage à rigidité réduite.

Intégration des machines à architecture complexe et redondante

Les enjeux actuels des systèmes mécaniques complexes concernent la réalisation de tâches de plus en plus complexes en environnement de moins en moins structuré dans une société de haute technologie intégrant les aspects sociaux (pénurie de main d'œuvre sur les opérations à forte pénibilité ou dangerosité, aide à la tâche, par exemple pour le bûcheronnage forestier dans le projet FUI ECOMEF).

Une des voies consiste à rendre le système agile en intégrant des redondances cinématiques ou d'actionnement afin d'en améliorer la dextérité, les capacités cinématiques et dynamiques ou la précision. L'originalité de notre approche est de proposer une redondance structurale répartie entre les sous-systèmes de la machine (bras robot porteur pour l'outil et plateaux rotatifs associés à la pièce, cellules multibras) pour la réalisation de tâches complexes. Celle-ci s'accompagne de la définition de critères de gestion de ces redondances liées à la prise en compte des contraintes du procédé (usinage, parachèvement, découpe et manipulation de corps). Elle permet une optimisation globale du couple Machine/Processus par l'amélioration de la précision et/ou de la dextérité mais également l'intégration de nouveaux modes de commande comme le contrôle en effort (Projets FUI SRDViand, ANR ARMS). Cette approche nécessite une modélisation complète de la structure, la définition d'espaces de capabilité (cinématique, dynamique, de précision) issus de l'étude du comportement réel anisotrope, la définition des contraintes associées à la tâche et la mise en place d'outils de simulation et d'optimisation de la trajectoire ou de son placement dans un espace opérationnel adapté. Un certain nombre d'actions concrètes visant l'intégration de cellules robotiques pour des opérations d'usinage et de parachèvement, la découpe/désossage dans la filière viande, ont montré la pertinence des outils développés.

Réalisations

Des applications métier sont traitées, prenant en compte des contraintes spécifiques : développement de machines spéciales pour le bucheronnage mécanisé (projet FUI ECOMEF) ou la découpe de corps mous (projet ANR ARMS). Dans le domaine des véhicules, on s'intéresse à la fois à des phénomènes lents, tels que le braquage différentiel et les phénomènes de glissement local issus de l'interaction roue-sol (travaux sur le véhicule expérimental 6x6 Kokoon) et à des comportements dynamiques rapides, tels que l'étude du franchissement dynamique d'obstacles (projet ANR FAST) ou la stabilisation de drone terrestre rapide en phase balistique (projet Région Auvergne RobCAT).

- **Groupe scientifique : excellence opérationnelle des machines et systèmes industriels**

Problématique

L'objectif est d'atteindre une excellence opérationnelle dans toutes les situations. L'excellence opérationnelle est une démarche systématique et méthodique menée pour maximiser les performances en matière de productivité, de qualité des produits et de réduction des coûts, et plus généralement de performance. Le groupe est organisé en trois activités :

Planification et optimisation de trajectoires

Le calcul de trajectoires est une activité de référence du domaine de la CFAO. De nombreuses publications ont porté sur la définition de méthodes de calcul. Nos travaux se sont focalisés sur la formalisation du problème de l'optimisation, essentiellement cinématique, des trajectoires sous contrainte de respect d'exigences géométriques. La modélisation du problème et la résolution algorithmique ont été abordées.

Nos travaux s'orientent maintenant dans deux directions. La première concerne la déformation et l'adaptation des trajectoires à la tâche, pour tenir compte de la déformation des pièces et prendre en compte les corrections identifiées par des mesures extéroceptives (optiques ou efforts). Des modèles géométriques et mécaniques doivent être proposés pour tenir compte des informations captées. L'agilité se situe alors au niveau de l'adaptation de trajectoires à la pièce, pièce par pièce. La deuxième concerne l'introduction de l'agilité dans les gammes de fabrication. Les évolutions technologiques rapides et les exigences de performance actuelles imposent de remettre en cause régulièrement les gammes de fabrication pour envisager de nouveaux gains. Ces travaux concernent également la planification optimisée des trajectoires de cellule multi-redondantes par le développement d'outil de programmation et de simulation pour la réalisation de tâches fortement sollicitantes et complexes comme l'usinage, le parachèvement, la découpe et la manipulation de corps mous (FUI SRDViand, ANR ARMS).

Prise de décision en milieu incertain dans le cadre de la conception, du pilotage et de l'exploitation de systèmes complexes

Le management industriel et logistique concerne un très vaste ensemble de domaines comprenant notamment la conception des produits et des processus de production, la gestion des flux physiques, la politique d'achat et de sous-traitance. La majorité des approches proposées dans la littérature et parfois mises en œuvre industriellement repose sur des modèles contenant des données supposées représenter le futur fonctionnement du système et son futur environnement de travail. Malheureusement, ces données sont parfois imprécises, souvent incertaines et potentiellement évolutives durant le cycle de vie du système. C'est pourquoi des notions comme la robustesse, l'agilité, la résilience, l'adaptabilité, etc. sont devenues des concepts clés depuis quelques années. Cependant la plupart des travaux existants repose sur une modélisation probabiliste et bayésienne de ces données. Or, il est rarement possible de disposer de lois de probabilité suffisamment fiables.

Dans cette activité, nous nous attacherons donc à poursuivre les travaux relatifs à la théorie de la décision et de faire la liaison entre les problèmes et les approches tout en gardant l'objectif de leur application industrielle.

Intégration, conception et pilotage de systèmes industriels

La recherche dans ce domaine représente un levier puissant de compétitivité pour les entreprises françaises, et ce d'autant plus qu'elles évoluent dans un environnement extrêmement concurrentiel. Dans ce cadre, le thème MMSI développe des méthodes novatrices et pluridisciplinaires tant dans le domaine de la conception et de l'optimisation de systèmes industriels que dans l'intégration de la composante humaine (en terme de compétences) en vue de concevoir et de piloter ces systèmes. Les méthodes d'optimisation doivent alors intégrer à la fois des données numériques, des concepts représentant l'organisation du système ainsi que des données imprécises modélisant des aspects humains. L'une des originalités de nos travaux est de travailler sur des systèmes industriels de type entrepôts logistiques et/ou de systèmes automatisés de préparation de commande en proposant des méthodes permettant d'optimiser la problématique du mapping-produit. Nous avons déjà démontré que nous pouvions escompter des gains de productivité de plus de 5 à 10 % dans les systèmes de préparation de commande. Nous travaillons autour de quatre sujets :

- le développement de nouvelles méthodes d'optimisation du picking dans les entrepôts logistiques et du placement des produits dans les réserves ;
- le développement des méthodes de conception et d'optimisation de la réserve des entrepôts afin de densifier le stockage en réduisant, en particulier, le coût de possession et pour les entrepôts à température dirigée, en diminuant les énergies consommées par unité stocké ;
- le développement des méthodes réactives de planification de tournée de camion permettant de minimiser le coût et la consommation des véhicules ;
- l'identification des bonnes pratiques dans l'ordonnancement des bons de prélèvement afin d'obtenir un système robuste de préparation de commande.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#39	FP7 thinkMOTION: dmg-lib.org goes european.eu , an open digital library of machines and mechanisms
#40	ANR FAST project: fast autonomous rover system
#41	FUI ECOMEF project: Eco-design of harvesting heads for hardwood
#42	Structural synthesis of parallel robots - a work in five parts published by Springer
#43	Dynamic prediction of machining robot and stability analysis
#44	Use of the cross-entropy method to tackle the storage location assignment problem

Un tableau récapitulatif exhaustif permettant d'appréhender l'étendue des travaux sur le plan des thèses, des contrats de recherche et des publications pour les thématiques scientifiques et les domaines d'application est donné en Annexe 6.3 (Annexes Institut Pascal, page 240).

Projets collaboratifs académiques

Les activités scientifiques du thème MMSI sont fortement irriguées par les programmes d'Equipement d'Excellence EquipEx ROBOTEX et par le Laboratoire d'Excellence IMobS3. L'équipe est très impliquée dans les deux premiers sous réseaux thématiques avec la création d'une plateforme expérimentale phare dans les domaines de la robotique de production ROBPROD (CTT-IFMA) et des implications recherches liées à la robotique mobile autour de la plateforme ROBMOB (PAVIN-UBP). L'axe robotique de production (ROBPROD) est piloté par Grigore GOGU, membre de la thématique. Il est organisé en trois principaux objectifs, chacun d'entre eux étant lié à des questions théoriques et industrielles :

- DextRob, qui traite de la manutention mobile et agile pour la robotique de production.
- AccuFast, qui vise à effectuer des accélérations élevées et haute précision, avec des enjeux scientifiques liés à la métrologie en temps réel, au contrôle robuste et à la maîtrise de la redondance.
- RoboTool, qui s'intéresse à l'usinage robotisé, avec des enjeux scientifiques liés à l'optimisation du comportement réel du robot, l'adaptation robot/procès, le contrôle robuste et interactif.

Pour relever le défi de la mobilité innovante au travers des mécanismes reconfigurables, des machines et des robots et de leur intégration, le Défi 1 Véhicules et machines intelligents du laboratoire d'excellence IMobS³ est structuré en deux programmes :

- le programme MaSPAR Machines et Systèmes de Production Agiles et Reconfigurables, qui est au cœur des problématiques scientifiques de l'équipe et dans lequel on retrouve trois actions. L'action RECONF - Capacités de reconfigurabilité des machines, systèmes de production et robots mobiles, l'action ROBDYN - Vers la maîtrise du comportement des systèmes ROBotiques sous fortes sollicitations DYNamiques, support à la conduite de deux thèses "Identification et modélisation du comportement dynamique des machines et robots reconfigurables" et "Conception modulaire de robots agiles et collaboratifs pour le transport en tout-terrain," et l'action RECONF - Capacités de reconfigurabilité des machines, systèmes de production et robots mobiles.
- Le programme FLOVA Flottes de véhicules autonomes en environnement dynamique et incertain, dans lequel sont construits deux actions structurantes de site avec l'Axe ISPR et l'Irstea sur l'Asservissement visuel omnidirectionnel de flottes de robots d'une part et sur la conception innovante d'architectures de véhicules.

Transversalités inter-thèmes, inter-axes, inter-laboratoires, inter-universités

L'Action Machines et Robots Intelligents et Innovants du Programme Transversal de l'Institut Pascal est formalisée dans le cadre de la Fédération de Recherche TIMS (fédération pluridisciplinaire centrée sur les Technologies de l'Information dans le cadre de l'étude de la mobilité) de la sûreté de fonctionnement et des communications. Les établissements qui se sont associés sont l'Université Blaise Pascal (UBP), l'Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA), le CNRS (Département ST2I) et l'IRTEA (Département Ecotechnologies et Agro-systèmes) et cré des synergies entre les laboratoires clermontois impliqués : Institut Pascal, le LIMOS (UMR 6158), et le TSCF (Irstea).

Le projet FP7 ECHORD-DEXDEB met en collaboration le thème MMSI avec l'Université de Londres et le fabricant britannique Shadow de mains mécaniques. L'objectif du projet ECHORD-DEXDEB est de mettre en place des expérimentations qui permettent de tester les limites en dextérité des plus performantes mains mécaniques dans la manipulation de la viande pour l'opération de désossage.

Le projet CLEM est financé par la communauté européenne, programme Leonardo Lifelong Learning, (518656-LLP-1-2011-1-UK-Leonardo-LMP) a pour objectif de développer une infrastructure pour l'apprentissage basé sur les services de cloud computing et de matériels didactiques.

Le projet ANR ARMS est développé pour "un système multi-bras pour la séparation de muscles". Le consortium est composé de trois partenaires académiques (l'IRCCYN, l'IP: Axes MMS et ISPR), un partenaire industriel (CLEMESSY) et un Centre Technique travaillant dans le domaine de l'industrie de la viande (l'ADIV). L'ADIV et l'IP (Axes ISPR et MMS) sont partenaires et engagés dans une Unité Mixte de Technologie intitulée Mécarnéo : mécatronique et robotique dans la filière viande agréée par le ministère de l'agriculture. Créée pour une période de 5 ans (2014-2018), l'UMT 14.02, Mécarnéo réunit l'ADIV, l'IFMA, l'Université Blaise Pascal et le CEA.

Le projet FUI ECOMEF permet de regrouper des partenaires académiques régionaux (IFMA/IP, IRSTEa), des professionnels du bois de toute la France (FCBA, France Bois Régions, Comptoirs des Bois de Brive, Lycée forestier Claude Mercier) et une PME locale (ISI) pour développer des systèmes innovants de bûcheronnage forestier destinés aux arbres feuillus, un secteur en plein essor économique.

Le projet FP7 ThinkMOTION est supporté par le programme CIP-ICT-PSP.2009.2.3 - Digital Libraries. Partenariat avec 6 universités: Ilmenau University of Technology (coordinator), University of the Basque Country, Politehnica University of Timisoara, RWTH Aachen University, IFMA / Institut Pascal et University de Cassino. Il s'appuie sur une association et une base de données européenne (DMG-Lib.org) et a contribué à la bibliothèque numérique européenne (Europeana.eu)

Le projet H2020 Bots2Rec (ICT24-2015-Robotique) regroupe à la fois des acteurs académiques (IFMA/IP; RWTH Aachen) et des PME européennes (ASCAMM (ES), Robotnik (ES), Telerobot Lab (IT)) autour d'un grand donneur d'ordres (Bouygues Construction (FR)) pour développer des robots manipulateurs mobiles, agiles et collaboratifs, capable de résoudre en toute sécurité un problème critique pour l'économie européenne: le désamiantage de grandes surfaces de locaux.

Dans le cadre du LabEx IMobS3, le programme MaSPAR Machines et Systèmes de Production Agiles et Reconfigurables met en relation les Axes de l'Institut Pascal à travers 4 actions :

- action RobDyn : vers la maîtrise du comportement des systèmes ROBotiques sous fortes sollicitations DYNamiques, support à la conduite de deux thèses : "Identification et modélisation du comportement dynamique des machines et robots reconfigurables", collaboration avec l'université de Sherbrooke, avec Prof. P.Paultre. Collaboration des thèmes MMSI et MPMS de l'Institut Pascal ;
- action C3Bots (Collaborative Cross and Carry mobile roBots) : elle développe un concept innovant de mono-robots modulaires pouvant s'assembler en un poly-robot complexe aux capacités étendues. Cette action est structurante sur le site puisqu'elle met en relation les partenaires des Axes MMS et ISPR de l'Institut Pascal ;
- action RECONF : capacités de reconfigurabilité des machines, systèmes de production et robots mobiles qui lie l'Institut Pascal (Axes MMS et ISPR) ainsi que le LIMOS – Informatique et réseau. Les travaux sur la reconfigurabilité ont donné lieu à une collaboration fructueuse avec le laboratoire IMS (Intelligent manufacturing Systems) de l'université de Windsor (Canada) : avec la collaboration du Pr W. ElMalaghy. Ces travaux ont conduit à la définition d'un projet collaboratif industriel dans le cadre de l'IRT Jules Verne. Le projet STAR (Systèmes Transitiques Agiles et Robotisés) qui regroupe 5 partenaires : Faurecia, Daher Technologies, BA Systèmes, IRT Jules Verne, IRCCYN associé à l'IFMA ;
- action SYNCOM : une collaboration internationale avec le Professeur Jian DAI de King's College – Université de Londres a été initié sur l'étude de la reconfigurabilité des mécanismes et des robots par le co-encadrement de la thèse de doctorat de Fidele Aimeedee.

Dans le cadre du projet ROBOTEX, des collaborations avec d'autres laboratoires français, comme l'IRRCyN et le LIRMM, dotés de plateformes robotiques de production ROBOTEX sont développées. Ces équipements renforcent la position de référence du laboratoire dans le domaine des cellules robotisées pour l'usinage.

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR	Emergence Adhoc	C	2012 - 2014	
	CPER	V2I	P	2003-2011	Véhicules et infrastructures Innovants
	ANR	FAST	P	2007-2010	Fast Autonomous Rover System
	ANR	ARMS	P	2010-2014	Système multi-bras pour la séparation de muscles.
	ANR	VOPAMP	P	2010-2012	Vers un Outil de Programmation Adapté aux Moyens de Productions.
	ANR	ECODEFI	P	2006-2010	ECOconception et Développement de méthodologies de Fabrication Innovante de machines d'épandage
	LabEx IMobS3	Action SYNCOM	C	2012-2015	mécanismes parallèles reconfigurables : synthèse et commande
	LabEx IMobS3	Action RobDyn	C	2012-2015	Vers la maîtrise du comportement des systèmes Robotiques sous fortes sollicitations Dynamiques.
	LabEx IMobS3	C3Bots	C	2012-2015	Conception et modelisation de manipulateurs mobiles reconfigurables.
	LabEx IMobS3	ReConf	C	2012-2015	Reconfiguration des machines et robots.
	EquipEx	ROBOTEX	C :MMSI	2010-2019	DextRob et RoboTool Accufast : métrologie pour la précision dynamique

	PSDR4		P	2015-2018	Accompagner et concevoir de nouveaux modes de mise en marché des produits dans le Massif Central.
	MatGrid Région Auvergne, FEDER	ARIM	P	2015-2016	Actionneur Rotatif Innovant à Mémoire de forme
Internationaux	FP7	Echord DEXDEB	P	2011-2013	Application of DEXterous hands for DEBoning operation.
	FP7	ThinkMotion	P	2010-2013	DMG-Lib goes Europeana: an open digital library of machines and mechanisms
	FP7	CLEM	P	2012-2014	
	FP7	H2020 Bots2Rec	P	2015-2019	Manipulateurs mobiles agiles et collaboratifs pour le désamiantage

Production scientifique

✓ Communications écrites

- 61 ACL : principalement dans les revues Robotics and Computer-Integrated Manufacturing (3) - Journal of Mechanical Systems and Signal Processing (1)- IEEE Transactions on Robotics (1)- Journal of Advanced Manufacturing Technology (5)- , Industrial Robot (5)- Frontiers of Mechanical Engineering (2)- International Journal of Mechanical Engineering and Automation (1)- International Journal of Machine Tool and Manufacture (3)- Decision support Systems (1)

- 19 OS : Livres (5, G. Gogu) - Chapitres de livre (12)

- 80 ACTI : principalement Robots and Systems (IROS) (1), IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (2) - 5th International Conference Information Systems, Logistics and Supply Chain (1)- international conference Integrated Design and Production (3), International Conference on Agricultural Engineering (AgEng) (1) - IEEE Green Technologies Conference (1) - IDMME (3)- ROBOTICS (2)

- 34 ACTN : principalement ASSISES UGV, Machines et Usinage Grande Vitesse (5) - Colloque SFER (1) - Congrès Français de Mécanique (10) - congrès annuel de la Société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision – RODAEF (1)- Colloque National AIP PRIMECA (6)- CIGOS (1)- Symposium VISHNO (4) - Conférence Internationale de MODélisation, Optimisation et Simulation (1)- Conférence Internationale de MODélisation, Optimisation et Simulation (1)

✓ Communications orales

- 13 INV

✓ Directions d'ouvrage ou de revues

- 2 DO

✓ Rapports scientifiques

- 11 rapports de thèse

✓ Logiciels, ressources, bases de données...

- 1 guide technique

Bilan de la production scientifique

Le bilan de la production scientifique du thème MMSI ainsi que son évolution au cours des années est synthétisé par le tableau ci-dessous :

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total	Total/ETP
ACL	8	15	10	10	10	8	61	8,1
ACLN	2	1	1	1	3		8	1,1
ACTI	19	14	12	11	20	4	80	10,6
ACTN	3	6	6	8	9	2	34	4,5
INV	1	2	2	4	2	2	13	1,7
OS	4	1	4	1	5	4	19	2,5

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

Nous avons publié chez Springer, le plus important éditeur mondial, un ouvrage de référence consacré à la synthèse structurale des robots parallèles en cinq parties avec plus de 3400 pages. La première partie de cet ouvrage a été publiée en 2008 [OS-08-01], la deuxième en 2009 [OS-09-01], la troisième en 2010 [OS-10-009], la quatrième en 2012 [OS-12-010] et la cinquième en 2014 [OS-14-005]. C'est le premier ouvrage de robotique présentant des solutions de robots parallèles avec des mouvements couplés, découplés, non couplés, entièrement isotrope et régulières dans l'ensemble de l'espace de travail. Ces contributions ont proposé des nouvelles formules pour le calcul des principaux paramètres structuraux d'un mécanisme parallèle (la connectivité, la mobilité, la redondance et l'hyperstatisme) et une méthode d'innovation basée sur la morphologie évolutionniste proposées dans les publications précédentes et développées dans ce livre. Les nouvelles formules pour le calcul des principaux paramètres structuraux d'un mécanisme parallèle (la connectivité, la mobilité, la redondance et l'hyperstatisme) ont été démontrées par la théorie des transformations linéaires. Aujourd'hui, cet ouvrage a été cité par plus de 200 publications identifiées par Scopus. Les nouvelles formules de calcul des paramètres structuraux des mécanismes parallèles que nous avons proposées nous ont permis d'analyser les singularités de contrainte des robots parallèles et la propriété de bifurcation [ACL-11-033, CTI-09-028] voir multifurcation [ACL14] associé à ce type de singularité. La maîtrise de cette propriété nous a permis de proposer plusieurs familles de robots parallèles reconfigurables [ACL-11-032, ACL-12].

La conférence MTM & Robotics 2012 a été organisée par l'Institut Pascal en collaboration avec le Département de Mécatronique de l'Université Politehnica de Timisoara – Roumanie, sous le patronage scientifique de International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science (IFToMM) et Robotics Society of Roumania (RSR) avec le support de l'Université Blaise Pascal, CNRS, IFMA et l'Université Politehnica de Timisoara. La conférence a regroupé 101 participants enregistrés en provenance de 12 pays (Roumanie, France, Japon, Allemagne, Italie, Corée du Sud, Autriche, Cameroun, Chine, Mexique Serbie et Tunisie) et a permis la publication d'actes chez l'éditeur Transtech Publications.

La conférence MUGV 2014, organisée à l'IFMA, a été le rendez-vous privilégié des industriels, des enseignants et des chercheurs œuvrant dans les domaines de la conception, de la réalisation, de l'intégration et de l'exploitation des machines et des robots d'usinage à grande vitesse. Les contributions universitaires et industrielles ont permis de faire le point sur les avancées récentes et les évolutions futures des thèmes à l'usinage et aux machines et procédés d'usinage.

✓ Prix et Distinctions

Matthieu Alric a obtenu le 1er prix jeune chercheur de la ville de Clermont-Ferrand en mars 2010 (12 candidats pré-sélectionnés). Encadrement : F. Chapelle, J.J. Lemaire, G. Gogu.

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
Editeur associé Mechanism and Machine Theory. Mechanics and Industry. Membre du Comité Scientifique: Chinese Journal of Mechanical Engineering. Membre du Conseil Editorial: Romanian Journal of Technical Sciences – Applied Mechanics. Associate Editor for Kinematics, Parallel Robots, Manipulator Design: International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014).	Organisation et comité de programme - IFToMM International Symposium on Robotics and Mechantronics, 2015 – Poitiers, France. - Joint Conference on Mechanical, Design Engineering & Advanced Manufacturing, 2014- Toulouse. - Reconfigurable Mechanisms and Robots (ReMAR), 2012- Tianjin, Chine, 2015 – Beijing, Chine. - International Conference of Robotics (Robotics), 2010-Cluj-Napoca, Roumanie, 2012-Clermont-Ferrand. - International Conference on	Referee Advances in Mechanical Engineering ASME Journal of Mechanical Design ASME Journal of Mechanisms and Robotics ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering Computer Aided Design IEEE Robotics and Automation Magazine IEEE Transactions on Robotics Industrial Robot International Journal of Advanced Manufacturing Technology

<p>International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014).</p> <p>Member of the editorial board of the series Applied Mechanics and Materials: Trans Tech Publications.</p>	<p>Mechanisms and Mechanical Transmissions (MTM), 2012-Clermont-Ferrand.</p> <p>- IFToMM Symposium on Mechanism Design for Robotics (MEDER), 2010-Mexico City, Mexique, 2012-Beijing, Chine, 2015-Albourg, Denmark.</p> <p>- IFToMM International Symposium on Science of Mechanisms and Machines (SYROM), 2010-Brasov, Roumanie, 2012-Brasov, Roumanie.</p> <p>- Workshop on Mechanisms, Transmissions and Applications (MeTrApp), 2011- Timisoara, Roumanie.</p> <p>- International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME), 2010 – Bordeaux.</p> <p>- MTM & Robotics 2016, The Joint International Conference of the XIII International Conference on Mechanisms and Mechanical Transmissions (MTM) and the International Conference on Robotics (Robotics'16), Aachen, Germany, October 26th -27th, 2016.</p>	<p>International Journal of Humanoid Robotics</p> <p>International Journal of Machine Tools and Manufacture</p> <p>International Journal of Robotics and Automation</p> <p>International Journal of Robotics Research</p> <p>Journal of Field Robotics</p> <p>Journal of Materials Processing Technology</p> <p>Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacturing</p> <p>Mécanique et Industries</p> <p>Mechanism and Machine Theory</p> <p>Robotica</p> <p>Journal of Materials Processing Technology</p> <p>International Journal Mechanical Systems and Signal Processing</p> <p>Sensors</p>
---	---	---

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

L'axe robotique de production (ROBPROD) du programme Robotex-EquipEx est piloté par Pr. Grigore GOGU, membre de la thématique.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Nos recherches s'inscrivent dans une relation étroite avec les milieux socio-économiques, que ce soit via les pôles de compétitivité : ViaMéca, Innoviande, Cérééal Vallée, AESE ou directement avec les partenaires. L'expertise acquise par l'équipe lui permet d'accompagner la mutation technologique de différentes entreprises via des actions de la plateforme de transfert de technologie 2M@Tech et du programme Robot Start PME.

Ces recherches s'inscrivent également dans le cadre de l'UMT O8 Mécanisation/robotisation dans les filières viandes et produits carnés (2008-13) et UMT MECARNÉO (2013-16) (ADIV, IFMA, UBP) en partenariat étroit avec le thème MMSI et l'Axe ISPR (projet SRDViand, ANR ARMS, FP7 ECHORD-DEXDEB).

Dans le cadre de la synthèse structurale des mécanismes, un grand nombre de solutions sont présentés pour la première fois dans la littérature, comme indiqué sur la page de garde de la première partie du livre publié chez Springer. Ce livre en cinq parties d'environ 3000 pages illustre un fort investissement dans ce sujet et représente, en même temps, la valorisation d'une quarantaine de publications internationales qui ont été écrites pendant les 5 dernières années sur le sujet de la synthèse structurale innovante des robots parallèles.

La période a vu un renforcement du plateau expérimental du laboratoire dans les domaines de la manipulation dextre et de l'usinage robotisé, via l'acquisition d'un robot bi-bras Kuka LWR doté d'une main dextre Shadow, de caméras rapides, et d'une centrale d'acquisition pour caractériser le comportement dynamique des machines. Ces matériels ont été acquis dans le cadre du projet ROBOTEX et renforcent la position de référence du laboratoire dans le domaine des machines pour l'usinage et nous permettent de participer à des collaborations avec d'autres laboratoires français, comme l'IRRCyn et le LIRMM, dotés de plateformes robotiques de production ROBOTEX.

✓ *Production*

5 BRE dont 3 PCT

3 rapports techniques : EDF (2012), RENAULT (2014), DGA (2012)

✓ Liste des contrats

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	FUI	LCM SMART	P	2008-2011	Procédés Avancés de Fabrication - Machine LCM du future (Liquid Composites Moulding).	LTDS, HEXCEL, SKF, ISOJET, ESI, VISUOL, ENSM, ENISE, GeM
	FUI	ECOMEF	P	2010-2016	Eco-concevoir un outil de mécanisation pour le bûcheronnage dans les peuplements feuillus.	FCBA,Irstea, ISI Process, IP-CBB, Lycée Forestier Claude Mercier, France Bois Régions
	FUI	OPTIFLUX	P	2011-2014	Optimisation des flux de production.	Renault Trucks, MécaCorp, 2MCP, Piroux Industrie
	FUI	H&DL	P	2009-2012	Hybrid alternative energy & development line.	Renault Trucks
	DGA	RAPID ARTHRON	C	2010-2012	Plateforme robotique ascensionnelle à pattes.	DGA, M-tecks
	FUI	FGV	P	2007-2010	Forage Grande Vitesse Vibratoire.	CTDEC, Chambon, Chartreuse Précision, Dapta, Erasteel, Evaflor AML, MHAC, PCI SCEMM, Chambon SAS, Thermiplatin, Tivoly, UF1, Ugitech, Montupet, Outiltec, ENISE, INPG.
	FUI	SRDViande	P	2007-2011	Systèmes Robotisés de Découpe de Viande.	ADIV
	FUI	OPHELIA	P	2011-2014	Optimisation d'une Filière Eco-efficente Aluminium-Lithium pour Aéronautique.	Constellium, Aubert & Duval
	IND	ICARE	C	2009-2012	Contrat cadre de recherche.	ICARE
	IND	ICARE	C	2012-2015	Contrat cadre de recherche.	ICARE
	IND	STEF	C	2011-2014	Contrat cadre de recherche en conception et optimisation de picking.	STEF
	IND	STEF	C	2014-2017	Contrat cadre de recherche de recherche sur la conception et l'optimisation du stockage.	STEF
	IND	MFPM	C	2011-2014	Evolution des outils de simulation rapide du procédé de fabrication du pneumatique avant cuisson.	MICHELIN
	IND	A&D	C	2012-2015	Contrat de recherche.	Aubert & Duval
	IND	A&D	C	2013-2016	Génération de gammes de fabrication avec intégration de l'expérience atelier.	Aubert & Duval
	IND	Vibrafloor	C	2013-2016	Contrat de recherche.	Vibrafloor
	IND	ADEME-Total-Green HSM	C	2013-2016	Allègement de structure de machines à rigidité contrôlée.	PCI
	IND	CORAC	C	2014-2017	Optimisation du processus de conception et fabrication de portes d'avion.	CORAC DEPACE

Analyse SWOT

Forces

Spectre large de compétences.
Plateformes d'appui : Usinage robotisé, Manipulation dextre, Machines UGV, Moyens de mesure.
Domaines d'excellence reconnus (robotique de production, robotique parallèle, optimisation de processus de fabrication).
Forts liens Formation/ Recherche/Valorisation.
Forte implication dans les Projets d'Investissement d'Avenir : Equipements d'Excellence en Robotique, Laboratoire d'Excellence IMobs3.
Forte implication dans les projets : Européens, ANR, FUI et industriels.

Faiblesses

Trop peu de personnels techniques d'appui à la recherche et pas de chercheurs CNRS. Ce manque est à mesurer par rapport au fort besoin dans les activités scientifiques du thème.
Manque de personnels techniques informatique sur le site de la thématique MMSI.
Nombreuses tâches administratives et d'enseignement.
Parité Homme/ Femme.
Très faible nombre d'allocations doctorales de l'Ecole Doctorale SPI au vu des effectifs SPI du site clermontois.

Opportunités

Fusion des compétences en Machines/ Robots/ Systèmes industriels et Matériau/ Fiabilité.
Fusion des compétences en mécatronique et commande de machines et robots.
Cohérence avec les priorités nationales et européennes.

Risques

Instabilité du budget de fonctionnement.
Assurer la pérennité de nos plateformes expérimentales.
Thématique axée sur une seule tutelle de l'Institut Pascal.
Diminution des budgets de fonctionnement du thème.

1.2.3.3. Thème MPMS

Personnels

2 PR, 5 MCF, 3 MCF-HDR

François AUSLENDER (MCF60-HDR, UBP), Pierre BEAUREPAIRE (MCF60, IFMA, depuis sept. 2013), Jean-Marc BOURINET (MCF60, IFMA), **Philippe BRESSOLETTE** (MCF60, UBP), David CLAIR (MCF60, UBP), Alaa CHATEAUNEUF (PR60, UBP), Michel FOGLI (PR60, UBP), Nicolas GAYTON (MCF60-HDR, IFMA), Thien-Phu LE (MCF60-HDR, IFMA), Cécile MATTRAND (MCF60, IFMA, depuis sept. 2012 ; 50% thème MPMS)

Associés (1)

Maurice LEMAIRE (PR Emérite, IFMA)

Doctorants

Thèses soutenues (16 dont 2 communes avec MS - avec année de soutenance) : Hamid BADI (2012), Paul BEAUCAIRE (Région Auvergne, 2012), Simon BUCAS (CIFRE, 2015), Vincent DUBOURG (CIFRE, 2011), Antoine DUMAS (ANR, 2014), Benjamin ECHARD (ANR, 2012), Fabien GIRAudeau (Bourse CNRS, 2015), **Xiao Su HU (MS)** (CG Allier, 2010), Abdourahmane KOITA (Salarié, 2011), Cécile MATTRAND (DGA, 2011), Lucka NESPUREK (Bourse BGF, 2010), Alban NOTIN (ANR, 2011), Guillaume REY (MESR, 2010), **Noureddine RHAYMA (MS)** (SNCF, 2010), Hacem RIAHI (ANR, 2013), Moncef SALMI (MESR, 2012)

Thèses en cours (13 dont 2 communes avec MS, 1 commune avec MMSI et 1 commune Axe PHOTON/CEM - avec année prévisionnelle de soutenance) : Amina AISSANI (MESR, 2015), **Julien BOUDET (MS)** (MESR, 2015), El Mehdi ABBOU-OU-CHERIF (Irstea, 2014), William FAURIAT (CIFRE Renault, 2016), **Attibaud KOUASSI (PHOTON/CEM)** (MESR, 2015), Samer MAHMOUD (Bourse étrangère - Liban, 2017), Charlie MATHEY (Allocation CEA, 2015), **Seifeddine MEJRI (MMSI)** (Labex IMobS3, 2015), Maliki MOUSTAPHA (CIFRE PSA, 2015), **Anthony MOUYEAUX (MS)** (CIFRE Irstea, 2016), Lara SAAD (Bourse étrangère - CNRSL, Liban, 2015), Mathieu SALLIN (CIFRE Défense, 2017), Jun SHAO (ANR MODNAT, 2016)

HDR présentées (2)

Nicolas Gayton (2012), Thien-Phu LE (2015)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Roxane FEPEUSSI (avril 2014-avril 2015)

Collaborateurs administratifs

Françoise CIALDELLA (UBP), Jacqueline GORSE (UBP)

Identité scientifique

Les travaux du thème MPMS s'inscrivent dans le cadre général de l'analyse probabiliste des systèmes mécaniques en contexte incertain. De nature numérique et théorique, ils concernent les aspects statiques et dynamiques linéaires et non linéaires et ont pour objectif la prise en compte de l'incertain probabilisé dans la conception, la modélisation, l'optimisation, l'exploitation et la maintenance des matériaux et des structures. Il est important de noter que ces problématiques sont souvent abordées dans le cadre de collaborations avec des membres d'autres thèmes de l'Axe MMS de l'IP. Ces aspects sont également présents dans le Programme Transversal de l'Institut Pascal, Action "Méthodes Probabilistes" dans laquelle interviennent plusieurs membres du thème.

Les travaux des membres du thème MPMS se font principalement au sein des deux groupes scientifiques **Approches Probabilistes et Stochastiques (APS)** et **Fiabilité et Optimisation des Structures et des Systèmes (FOSS)**, correspondant aux deux thèmes annoncés dans le projet de l'Institut Pascal 2006-2010 : "Modélisation /prédiction/évaluation des comportements statiques et dynamiques des matériaux et des structures en contexte aléatoire", et "Prévision/évaluation des performances fiabilistes des systèmes mécaniques structuraux et conception mécanique optimale".

Contexte

Les incertitudes jouent un rôle central dans de nombreux phénomènes physiques et systèmes rencontrés en ingénierie. Quantifier l'impact de ces incertitudes sur des grandeurs d'intérêt est devenu un champ actif de recherches dans de nombreuses disciplines, et en particulier en mécanique des structures et science des matériaux. L'originalité des recherches menées dans le cadre du thème MPMS tient non seulement aux méthodologies développées, mais également à leur adaptabilité à des problématiques industrielles (phénomènes fortement dispersifs, variabilité temporelle et spatiale...).

Quantifier et optimiser les marges de sécurité est un enjeu industriel essentiel pour rationaliser les coûts tout en garantissant un certain niveau de fiabilité et de qualité durant une période donnée. Les caractères fortement industriel, à la fois applicatif et méthodologique, et transversal, font de ce thème de recherche une spécificité importante de l'axe MMS et de la place clermontoise. Les membres du thème MPMS sont reconnus nationalement et internationalement comme des acteurs significatifs du domaine, comme le prouvent les nombreuses participations à des comités scientifiques de congrès ainsi que les invitations à des conférences.

Réalisations

Les travaux de recherche du thème MPMS sont développés au sein de deux groupes scientifiques.

Le groupe scientifique **Approches Probabilistes et Stochastiques (APS)** est consacré au développement et à la mise en œuvre d'outils analytiques et numériques pour la modélisation, l'analyse et l'évaluation des comportements mécaniques aléatoires des matériaux (homogènes ou hétérogènes) et des structures (en statique et en dynamique), l'analyse fiabiliste des systèmes mécaniques et leur conception fiable en contexte incertain. L'accent est mis sur les approches permettant l'étude de problèmes à grands nombres de variables aléatoires. Le traitement statistique des données expérimentales et l'identification des systèmes mécaniques en environnement aléatoire statique ou dynamique font également partie des domaines traités. Les actions principales développées dans ce groupe scientifique sont les suivantes :

Construction de modèles stochastiques

- Identification modale et mise à jour de modèles dynamiques structuraux.
- Construction et simulation de processus et champs stochastiques (gaussiens-non gaussiens, stationnaires-non stationnaires).
- Modélisation stochastique de microstructures à partir de données réelles.

Analyse du comportement des matériaux hétérogènes à microstructure aléatoire

- Étude de la variabilité des propriétés mécaniques apparentes.
- Modèles d'homogénéisation incorporant les fluctuations des champs locaux.

Les travaux de recherche menés au sein du groupe **Fiabilité et Optimisation des Structures et des Systèmes (FOSS)** concernent les systèmes physiques rencontrés en ingénierie (essentiellement mécaniques) présentant des incertitudes propres à la physique des phénomènes en présence ou liées à l'information dont on dispose sur ces systèmes. L'objectif est d'apporter des solutions aux problèmes industriels centrés sur la sécurité des personnes, des structures, des ouvrages ou de manière plus large sur le bon fonctionnement des systèmes. Le groupe FOSS développe principalement les actions suivantes :

Méthodes numériques pour la propagation d'incertitudes

- Évaluation de probabilités faibles associées à des événements rares.
- Construction de méta-modèles adaptatifs (krigeage, SVM).
- Résolution de problèmes à dimension stochastique élevée (grand nombre de variables, processus ou champs...).

Conception et optimisation en présence d'incertitudes

- Conception fiable et robuste.
- Optimisation sous incertitudes du cycle de vie des structures.

Optimisation du cycle de vie des structures

- Modélisation probabiliste de la dégradation des structures.
- Optimisation de la maintenance pour la fiabilité.

Ces approches se déclinent dans différents domaines d'application : structures (excitation ambiante, séismes, fatigue et propagation de fissures, sécurité des véhicules), matériaux hétérogènes et composites, analyse des tolérances de fabrication. Il faut noter la forte transversalité de l'activité du thème scientifique et de fortes collaborations avec d'autres thèmes (matériaux actifs et intelligents, mécanique des assemblages, thermique, mécanique des sols).

Les travaux menés par les membres du thème sont illustrés par des fiches scientifiques, certaines consacrées à des développements scientifiques spécifiques au thème MPMS, d'autres à des actions de diffusion des méthodes d'analyse (écoles d'été, logiciels) et d'autres enfin à des collaborations avec d'autres

membres de l'Axe MMS (l'Action Méthodes Probabilistes du Programme Transversal illustre également les travaux menés par les membres du thème MPMS).

Au plan international, ces travaux ont contribué au développement de la toolbox Matlab open source FERUM (UC Berkeley/IFMA), dédiée à la propagation des incertitudes pour l'analyse de fiabilité. Au plan national, ils ont contribué à enrichir la bibliothèque de calcul mécano-probabiliste OPENTurns. De plus, les résultats de ces recherches ont été exploités avec succès dans des projets ANR (CISSSI, MIRADOR, APPRoFi, SISBAT) et des grands projets nationaux (IREX S3, projet international TASSILI). Ils ont également servi de base à l'élaboration de trois cours pour le Collège de Polytechnique : l'un sur la simulation des processus et champs stochastiques et la résolution numérique des équations différentielles stochastiques (M. Fogli, P. Bernard), l'autre sur les méthodes de Monte-Carlo (M. Fogli, F. Bernardin) et le troisième sur la fiabilité structurale (N. Gayton, J.-M. Bourinet, M. Lemaire).

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#45	Numerical tools for solving stochastic dynamics problems in structural mechanics
#46	AK-RM: active learning and kriging-based reliability methods
#47	FERUM: a Matlab open-source toolbox for uncertainty propagation
#48	Summer schools in uncertainty quantification
#49	Benchmark of numerical methods for reliability-based design optimization
#50	Reliability-based multi-scale assessment of seismic vulnerability of buildings

Projets collaboratifs académiques

Les membres du thème ont participé à de nombreux projets, nationaux et internationaux, dans lesquels ils ont été moteurs sur la partie prise en compte des incertitudes (naturelles comme pour MODNAT et/ou liées au fonctionnement comme pour SISBAT ou TASSILI par exemple). De nouveaux projets sont actuellement en cours de finalisation (principalement ANR).

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR	MODNAT	P	2012-2015	MODélisation probabiliste des phénomènes NATurels.
	ANR	AHTOLA	P	2011-2014	Advanced Hybrid method for the TOLerance Analysis of complex system.
	ANR	SISBAT	P	2009-2012	Analyse et optimisation du comportement sismique de la maison individuelle avec toiture en charpentes industrialisées en bois – Couplage modélisation stochastique / expérimentation.
	ANR	APPROFI	P	2008-2011	Approche PRObabiliste de la conception robuste en Fatigue.
	ANR	CISSSI	C	2007-2010	Calcul Intensif Stochastique et Sûreté des Systèmes Industriels.
	RGCU	DRAST/IREX S3	P	2007-2011	Surveillance de Santé Structurale.
	PEPS	MPMET	P	2015	Modélisation physique d'un nouveau mécanisme d'élongation tissulaire.
Internationaux	Brésil	COFECUB	C	2012-2015	Modèle de fiabilité et d'optimisation appliqués aux problèmes d'ingénierie.
	Univ. ORAN	TASSILI	C	2008-2011	Approche fiabiliste de la réhabilitation et de la réparation des structures endommagées par des matériaux composites.
	COST	BridgeSpec (TU1406)	P	2015-2019	Quality specifications for roadway bridges, standarization at a European level.

Production scientifique

✓ Communications écrites

- 82 ACL : les revues principalement ciblées par le thème sont : Structural Safety, Probabilistic Engineering Mechanics, Reliability engineering and System Safety.
- 10 OS : chapitres de livre.
- 104 ACTI : Principalement International Conference on Structural Safety and Reliability, International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, IFIP.
- 39 ACTN
- 4 ACLN

✓ Communications orales

- 11 INV
- 29 COM
- 1 AFF

✓ Rapports scientifiques

12 rapports de contrats industriels et d'ANR.

✓ Logiciels, ressources, bases de données...

- FERUM, <http://www.ifma.fr/FERUM> (Code open source, licence GNU). 1200 téléchargements de septembre 2009 à mai 2014, issus de 62 pays (USA 150, France 130, Chine 120, Iran 90, Inde 80, Allemagne 50, Brésil 50, UK 40). Etablissements (> 10 utilisateurs, par ordre décroissant des nombres de téléchargements) : Pontificia Universidad Catolica de Rio de Janeiro (Brésil), Aalborg University (Danemark), TU Munich (Allemagne), Indian Institute of Science Bangalore (Inde), Amirkabir University of Technology (Iran), TU Delft (Pays-Bas), Seoul National University (Corée du Sud), ETH Zurich (Suisse), University of Akron (Etats-Unis), UC San Diego (Etats-Unis), University of Illinois at Urbana-Champaign (Etats-Unis).
- Logiciel de simulation MicMac++ dédié à la modélisation micromécanique des matériaux hétérogènes (polycristaux et composites) pour des comportements élastiques, élastoplastiques et élastoviscoplastiques. MicMac++ est diffusé sous une licence CeCILL-B, 2009.

Bilan de la production scientifique

Le bilan de la production scientifique du thème MPMS ainsi que son évolution au cours des années est synthétisé par le tableau ci-dessous :

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total	Total/ETP
ACL	7	18	17	20	14	6	82	17,3
ACLN	2	2					4	0,8
ACTI	24	26	16	12	11	15	104	21,9
ACTN	9	1	9	4	13	3	39	8,2
INV	2	5	2			2	11	2,3
COM	3	8	6	5	4	3	29	6,1
AFF						1	1	0,2
OS	4	4	2				10	2,1

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

Au-delà des invitations à des conférences internationales, les mobilités liées au thème MPMS sont :

- Invitation de professeurs étrangers : P. Paultre (Sherbrooke) (2 semaines), C. Proppe (Karlsruhe) (6 mois).
- Invitations de professeurs du thème MPMS à l'étranger : A. Chateaufort à Bogota (Colombie) (3j.), A. Chateaufort à Beyrouth (Liban) (1 semaine/an).

Il faut noter de plus l'accueil de deux doctorants de l'Université d'Arizona (Tucson, USA) pour des séjours de recherche (A. Basudhar : oct. à déc. 2010, S. Lacaze : sept. à déc. 2012).

✓ Prix et Distinctions

Prix IMdR de la session Recherche et Industrie attribué au papier de V. Dubourg et al. présenté au Congrès lamda-mu 18 en 2012 (prix de 1000€).

Prix Pierre Bézier 2014 de l'ENSAM pour A. Dumas (parmi les 3 lauréats sur 65 dossiers).

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
Ain Shams Engineering Journal, Elsevier, ISSN: 2090-4479.	<p>Comité Scientifique</p> <ul style="list-style-type: none"> - TENSINET - COST Symposium 2016 on Novel Structural Skins, Newcastle (2016). - 4th International Conference on Soft Computing Technology in Civil , Structural and Environmental Engineering (CSC'2015), Prague. - 25th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2015), Zurich. - 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12), Vancouver (2015). - CIGOS 2015 Construction innovante, Conférence Franco-Vietnamienne, ENS Cachan (2015). - 1st International Conference on Uncertainty Quantification in Computational Sciences and Engineering (UNCECOMP 2015), Crete Island. - Uncertainty 2014, Rouen. - IUTAM Symposium on Multiscale Problems in Stochastic Mechanics, Karlsruhe (2012). - 2nd international Conference on Soft Computing (CSC'2011), Chania, Crete. - CFM 2015 (Lyon). - JFMS 2014 (Aix en Provence). - JN'Fiab 2012 (Chambéry). - JN'Fiab 2010 (Toulouse). <p>Comité d'organisation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uncertainty Modeling for ElectroMagnetic Applications (UMEMA), Saint-Nectaire (2015). - Modeling and Numerical Methods for Uncertainty Quantification (MNMUQ 2014), French-German Summer School. - EcoleThématique CNRS, Porquerolles (2014). - 46th ESReDA Seminar, Reliability Assessment and Life Cycle Analysis of Structures and Infrastructures, Torino (2014). - IUTAM Symposium on Multiscale Problems in Stochastic Mechanics, Karlsruhe (2012). - 2nd International Conference on Composite materials and structures (CIMSC'11), Oran. - Uncertainty Quantification in Mechanics and Material Sciences, Theory and Practice, French-German Summer School, Pforzheim (2011). - 39th ESReDA Seminar, Challenges in Structural Safety and Risk Analysis, Coimbra (2010). - CIGOS 2010 Immeuble de grande hauteur et ouvrages souterrains, conférence Franco-Vietnamien, Paris (2010). - 3rd International Conference on Accelerated Life Testing for Reliability and Quality Control (ALT2010), Clermont-Ferrand (2010). - 8^{ème} Journées de Fiabilité des Matériaux et des Structures, Aix en Provence, (2014). - Workshop Les critères d'acceptabilité en sécurité et sûreté des structures, congrès de sûreté de fonctionnement (λμ19), Dijon (2014). - Journée Perception et acceptation des risques en sécurité et sûreté des structures, AFM/IMdR, Cachan (2012). - JFMS 2012 (Chambéry). - IMdR/M2OS et IMdR/AFPS (Cachan, 2011). 	<p>Referee</p> <ul style="list-style-type: none"> Advances in Engineering Software or Computers & Structures, Elsevier Advances in Mechanical Engineering Computers and structures, Elsevier Engineering Fracture Mechanics Engineering Optimization Engineering Structures, Elsevier European Journal of Computational Mechanics European Journal of Environmental and Civil Engineering GranularMatter HKIE Transactions, Hong Kong Korean Society of Civil Engineers KSCE International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics International Journal of Pressure Vessels and Piping International Journal of Reliability and Safety International Journal of Solids and Structures Journal of Computational and Nonlinear Dynamics Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Mechanical System & Mechanical Processing Mechanics&Industry Mechanics of Materials Probabilistic Engineering Probabilistic Engineering Mechanics Reliability Engineering & System Safety Structure and Infrastructure Engineering Structural and MultidisciplinaryOptimization Structural Safety Journal of Sound and Vibration Journal of Vibration and Control Earthquake Engineering and Structural Dynamics Canadian Journal of Civil Engineering. International Journal of Structural Stability and Dynamics Advances in Structural Engineering Earthquake Engineering and Engineering Vibration International Journal of Plasticity

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

- Animation du GST Mécanique Probabiliste des Matériaux et des Structures devenu Mécanique & Incertain au sein de l'AFM.
- Pilotage du groupe européen Reliability-based Optimization of the Life Cycle of Structures and Infrastructures, ESReDA Project Group, European Safety, Reliability and Data Association, 2011-2015.
- Co-animation du groupe IMdR G3S : Sécurité et Sûreté des Structures, de l'Institut de maîtrise des Risques ; Groupe miroir de la plate-forme Européen sur les risques industriels EPTIS.

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

Les membres du thème MPMS ont été sollicités par l'ANR, des GIS ou des universités pour expertiser des projets et par l'AERES pour faire partie de comités d'évaluation de laboratoire. Certains ont également participé à la rédaction d'une norme AFNOR, et comme expert extérieur dans le conseil scientifique d'entreprises. Un membre de ce thème a fait partie du comité d'évaluation de l'ANR du Défi 6 Mobilité et Systèmes urbains durables pour l'examen des projets soumis en 2015.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

✓ *Production*

1 BRE : N. Gayton, D. Theallier, Apparatus for muscular and/or technical work by at least one person (2014).

✓ *Liste des contrats*

	Type	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	CIFRE	2011 - 2014	Analyse fiabiliste des grues à tour.	Manitowoc
	CIFRE	2014 - 2017	Analyse incertitudes de changement sur engins militaires.	NEXTER
	CIFRE	2012 - 2015	Optimisation mécano-fiabiliste.	PSA
	CIFRE	2013 - 2016	Analyse de la variabilité des chargement sur véhicule grand tourisme.	RENAULT
	IND	2009 - 2012	Accord cadre IFMA / PHIMECA.	PHIMECA
	IND	2013 - 2015	Contrat de transfert de technologie, incertitudes de mesures.	CEA Bruyère le Chatel
	IND	2012 - 2015	Contrat de transfert de technologie fiabilité, robustesse.	SNECMA
	IND	2008 - 2011	Financement thèse C. Mattrand.	DGA, EADS-IW
	IND	2008 - 2012	Financement thèse de H. Badi.	IFSTTAR
IND	2007 - 2010	Financement thèse de N. Rhayna, projet national S3, projet Européen INNTRACK.	SNCF	

Analyse SWOT

Forces

Les travaux des membres du thème MPMS jouissent d'une reconnaissance importante aux niveaux national et international. Les domaines couverts sont variés et montrent une forte transversalité, correspondant à des compétences multidisciplinaires. De plus, des relations fortes existent avec le milieu industriel, comme le montrent les nombreux contrats et thèses CIFRE.

Faiblesses

La principale faiblesse du thème MPMS est liée au faible nombre d'enseignants-chercheurs qui le compose, sachant qu'ils interviennent également dans l'action « méthodes probabilistes » du programme transversal. L'autre faiblesse est liée au manque global de moyens numériques (aussi bien en termes de matériels que d'assistance au développement).

Opportunités

La sensibilité actuelle de la société et des acteurs industriels et académiques à l'importance de la prise en compte des incertitudes est certainement une opportunité importante. Il en est de même de la présence importante des membres du thème MPMS dans les grands réseaux nationaux et internationaux, qui permet de rester au courant des évolutions de la communauté.

Risques

Le principal risque est lié aux faiblesses (faible nombre d'acteurs) et aux forces du thème (forte transversalité, liens avec le milieu industriel) : en effet, il existe un risque de dispersion liée à la diversité des besoins de recherche et un équilibre difficile à maintenir entre développements méthodologiques et applicatifs.

1.2.4. Axe PHOTON

Identité de l'Axe

L'Axe Photon de l'Institut Pascal développe une activité de recherche théorique et expérimentale en Physique et Ingénierie. Les domaines d'expertise de l'Axe se rapportent principalement aux Nanosciences et à l'Electromagnétisme (sections 03 et 08 du CNRS, sections 28 et 63 du CNU). Les thématiques abordées ont un intérêt fondamental important et un fort potentiel applicatif pour la réalisation de la prochaine génération de composants photoniques et optoélectroniques. Ces composants seront basés sur de nouveaux concepts, tels que la polaritonique plasmonique et excitonique, de nouvelles structures telles que des micro- et nanofils, microcavités de semiconducteurs, des nanocubes métalliques, des métamatériaux ou des cristaux photoniques. Ces composants auront de nouvelles fonctionnalités, seront totalement intégrables et auront une faible consommation énergétique. Des recherches sont également menées en Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) dans le développement de modèles numériques et/ou expérimentaux pour la caractérisation électromagnétique de dispositifs complexes ou de scènes d'interaction ondes/systèmes électroniques ou vivants. Les objectifs visent à concevoir des méthodologies et des outils généraux amont pour appréhender efficacement des problèmes de CEM et de BioCEM à fort impact sociétal. L'Axe est structuré en 3 thèmes qui sont déclinés dans la section organisation fonctionnelle.

Organisation fonctionnelle

L'Axe est composé de trois thèmes scientifiques :

Le thème [Nanophotonique et Nanostructures \(N2\)](#) rassemble des activités de recherche théoriques et expérimentales dans le domaine de la physique des nanostructures semiconductrices et de l'optique électromagnétique. Ses principaux champs d'investigation sont la spectroscopie optique fine de nanostructures : microcavités en régime de couplage fort lumière-matière, hétérostructures quantiques réalisées à base de semiconducteurs à grand gap, l'étude théorique et expérimentale de la condensation de Bose-Einstein des excitons-polaritons, la spin-optronique, les fluides quantiques de lumière, les circuits polaritoniques, les isolants topologiques photoniques et la manipulation de la lumière dans les cristaux photoniques, les métamatériaux, et la plasmonique.

Le thème [Microsystèmes et NANO-MATÉRIAUX \(MINAMAT\)](#) rassemble les expertises de synthèse, d'élaboration et de caractérisation de nanostructures fonctionnelles à base de composés inorganiques tels que les semiconducteurs III-V incluant les nitrures, mais aussi organiques ou hybrides. Les principaux champs d'investigation sont la synthèse de nanofils et de nanostructures par croissance cristalline en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) ; la passivation et la nanostructuration de surfaces sous ultraviolet couplées à des modélisations par dynamique quantique moléculaire ; la synthèse et/ou la mise en forme de nanomatériaux sensibles pour la conception de micro-capteurs chimiques permettant une quantification précise et sélective de gaz à très faible concentration (sub-ppm).

Le thème [Compatibilité ElectroMagnétique \(CEM\)](#) adresse le développement de modèles numériques déterministes et stochastiques pour la prédiction des phénomènes de couplage ondes électromagnétiques / systèmes complexes dans le domaine de l'électronique, de l'électronique de puissance, mais aussi du bio-électromagnétisme. Ces travaux sont enrichis par des expérimentations menées en chambre réverbérante à brassage de modes.

La gouvernance et l'animation de l'Axe sont opérées comme suit :

Un [Responsable d'Axe](#) (G. Malpuech depuis 2014, G. Granet (2012-2014)) est élu au suffrage des permanents de l'Axe pour une durée de 2 ans renouvelable. Le Responsable nomme un [Responsable adjoint](#) (actuellement E. Centeno).

Le [Comité d'Axe](#) se réunit hebdomadairement. Il est constitué du responsable, du responsable adjoint, des trois responsables de thèmes, et du représentant des ITA/BIATSS de l'Axe, élus pour une période de deux ans, renouvelable. Les responsables de thème sont P. Disseix (N2), C. Robert-Goumet (MINAMAT) et P. Bonnet (CEM). Le responsable des ITA/BIATSS est S. Girard. Le Comité d'Axe a pouvoir de décision pour l'ensemble des questions fonctionnelles qui sont traitées chaque année, à savoir de manière non exhaustive : pré-classement des sujets de bourses de thèses proposés aux Ecoles Doctorales, demande de moyens CNRS, dossiers des Professeurs Invités, distribution des crédits récurrents (dotations annuelles de base des tutelles), etc...

Le **Conseil Scientifique** : il s'agit d'un comité d'Axe élargi qui assure la représentativité des différentes opérations scientifiques au sein des thèmes. Le Conseil Scientifique a pour vocation d'informer et de discuter des orientations de la politique scientifique de l'Axe PHOTON. Le Conseil Scientifique est consulté pour les décisions dites exceptionnelles, telles que la définition d'un profil de poste permanent, ou de restructurations majeures au sein de l'Axe, ou vis-à-vis de l'extérieur. Le Conseil Scientifique se réunit tous les 2 mois.

L'**Assemblée Générale** : elle est composée de tous les membres de PHOTON, convoqués par le responsable d'Axe. Elle se tient au moins une fois par an, avec un but informatif et de débat.

Animation Scientifique : des séminaires d'Axe sont régulièrement organisés. Chaque année, le responsable a pour charge d'organiser la journée de Photon, ou chaque opération scientifique présente ses activités de recherche, bilan et projet.

Cartographies récapitulatives

Personnels

- 30 Permanents EC/C : 13 PR, 1 DR CNRS, 15 MCF (dont 8 HDR), 1 PRAG
- 1 PR sur Chaire d'Excellence ANR (UBP)
- 5 BIATSS/ITA : 1 AI UBP, 1 IE UBP, 1 IR UBP, 2 IR CNRS
- 15 PhD en cours, 32 PhD soutenus sur la période
- 2 Post Doc en cours, 17 Post Doc achevés sur la période

✓ Répartition par établissement

- Enseignants-Chercheurs/Chercheurs : 27 UBP - 2 UDA - 1 CNRS
- Equipe Technique : 3 UBP - 2 CNRS

✓ Associés

- 3 PR Emérites, 1 PAST

Equipements spécifiques / Plateformes

- N2 : bancs de spectroscopie optique avec (i) micro-résolution spatiale (μ -réflectivité, μ PL, transmission), (ii) résolution temporelle fs (auto-correlation, mélange à quatre ondes) - Banc d'Absorption Optique Détectée Thermiquement.
- MINAMAT : réacteurs de croissance HVPE - bâtis ultra-vide et spectroscopies électroniques associées (XPS, UPS, AES, EPES) - bancs de mesures automatisés sous gaz en faibles concentrations (O_3 , NO_2 , NH_3 , H_2S , CO, BTX, COVs) - centrale de caractérisations électriques (I-V, C-V vs fréquence et température, effet Hall, DLTS).
- CEM : plateforme PACEM - Chambre Réverbérante à Brassage de Mode de $8.4*6.7*3.5 \text{ m}^3$ - cellule GTEM - cellules TEM - banc de mesure d'impédance de transfert - banc de variation de vitesse.

Projets collaboratifs académiques

Sur la période 2010-2015, l'excellence scientifique des travaux menés par les acteurs du thème PHOTON et leur rayonnement international, ont permis un très haut niveau de participation de l'Axe à des projets collaboratifs, nationaux ou internationaux. Un bon nombre de ces projets sont coordonnés par l'Institut Pascal. C'est le cas de 3 projets ANR, de 2 projets Européens de type COST, et d'un réseau Européen ITN Marie Curie. On peut également noter une implication en tant que partenaire dans un projet ERC, et la participation à deux LabEx : le LabEx local IMobS3, et le LabEx national GaNeX. Ces projets ont fortement soutenu l'activité scientifique de PHOTON.

On peut néanmoins noter que la baisse importante des taux de succès nationaux et européens aux appels d'offres génériques basés sur des critères d'excellence scientifique ANR-blanc (8%) ou européen (ITN Marie Curie 5%, FET-open 3 %) nous impactent bien sûr directement. Cette diminution du financement de la recherche a commencé à affecter l'activité scientifique de l'Axe PHOTON sur la fin de la période d'évaluation et aura de lourdes conséquences dans les prochaines années si cette tendance venait à perdurer.

	Type	Nombre	Coordination
Nationaux	ANR Collaboratifs	6 +1 avec Axe MMS	2
	ANR Jeune Chercheur	1	1
	REI-DGA	1	1
	R&T	1	1
	Laboratoire sans mur avec CEA DAM	1	1
	LabEx	2	0
	Synchrotron Soleil	2	1
	PEPS	2	2
	CPER	2007-2013 et 2015-2020	0
Internationaux	FP7-ERC	1	0
	FP7-Marie Curie IRSES	2	0
	FP7 – Marie Curie Bourse Individuelle	1	1
	FP7 Marie Curie-ITN	3	1
	FP7- COST	3	2
	PRACE	1	0
	PHC	3	2
	BRI-Corée	1	0
	PICS-CNRS	1	1

Production scientifique

✓ Communications écrites

	ACL	OS	ACTI	ACTN	TOTAL
Communications écrites	219	11	137	8	375
	INV	COM	AFF	-	TOTAL
Communications orales	57	177	59		293

La production scientifique est quantitativement similaire à celle de la période précédente (222 ACL, 105 ACTI sur 2006-2010). Le nombre d'invitations est toutefois en progression (57 contre 37 pour la période précédente).

Le tableau ci-dessous démontre une forte progression de la qualité des revues scientifiques dans lesquels les travaux de l'Axe ont été publiés durant la période d'évaluation. On peut en particulier noter la publication d'un article dans Nature (avec un chercheur de l'Axe PHOTON en premier auteur), et d'un dans Science ce qui n'avait jamais été le cas dans l'histoire de l'IP/LASMEA. On constate également un triplement du nombre d'articles publiés dans des journaux de facteur d'impact (IF) supérieur à 10, un quasi-doublement pour les revues d'IF supérieur à 5, et une augmentation pour les revues d'IF>3. De plus, toutes les opérations scientifiques à caractère fondamental (ayant des HDR de l'ED Sciences Fondamentales) ont publié au moins un article dans une revue d'IF supérieur à 10. Ceci démontre une homogénéité remarquable de la qualité des activités menées dans l'Axe PHOTON.

Principaux ACL répertoriés dans JCR ISI WEBS	IF 2013	Nbre (2010-2015)	Nbre (2006-2010)
Nature	42,35	1	0
Science	31,48	1	0
Nature Physics	20,60	3	2
Nano Letters	12,94	3	1
Nature Communication	10,74	2	0
Total IF >10		10	3
Physical Review X	8,46	1	
Physical Review Letters	7,73	16	
Journal of Physical Chemistry Letter	6,69	1	
Carbon	6,16	1	
IEEE Power Electronics	5,73	2	
Total IF > 5		31	16
Total IF > 3		97	78

Taux de citations d'articles publiés par des chercheurs de PHOTON (adresse LASMEA/IP), source WOS :

Nombre articles cités plus de 100 fois : 10.

Nombre articles cités plus de 50 fois : 40.

Taux de citation, facteur h de certains membres de l'Axe :

G. Malpuech, 4100 citations, 554 en 2014, h=39.

D. Solnyshkov, 2000 citations, 374 en 2014, h=26.

G. Granet, 1269 citations, 124 en 2014, h=18.

J. Leymarie, 1264 citations, 101 en 2014, h=17.

✓ *Logiciels, ressources, bases de données*

Deux codes de calcul en libre accès ont été développés et sont maintenus par des chercheurs de l'Axe :

- un code dédié aux calculs de la propagation de faisceaux dans des structures multi-couches (applications au Photovoltaïque, cristaux photoniques et métamatériaux) :

<http://elma.univ-bpclermont.fr/moreau/moosh/>

- Le logiciel CASINO : P.E. Hoggan, K. Doblhoff-Dier en collaboration avec M.D. Towler (Cambridge, UK) et N.D. Drummond (Lancaster,UK).

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

Le fort rayonnement international est mis en évidence par le nombre important d'invitations à des conférences internationales (54) et d'échanges de membres permanents, de collaborations avec des Universités françaises ou étrangères. Le rayonnement de l'Axe PHOTON se traduit également par la coordination de plusieurs projets, y compris dans les grands réseaux européens, la participation dans deux LabEx, l'organisation de plusieurs conférences ou écoles (7), le nombre important de travaux d'expertise et de jurys de thèse auxquels ont participé les permanents de l'Axe. L'existence d'un laboratoire sans mur avec le CEA DAM renforce également le potentiel de recherche de l'Axe.

✓ *Invitations et attractivité internationales*

- 57 invitations en conférences internationales.
- 16 séjours à l'étranger de permanents de l'Axe.
- 46 séjours de Professeurs Invités.
- 1 Chaire d'Excellence de l'ANR (N. Gippius, 2006-2013). Collaboration avec 35 laboratoires /Universités français et 45 laboratoires/Universités étrangers.
- Jurys de thèse/HDR : en France, 74 ; à l'étranger, 5.

✓ *Conventions bilatérales*

- Université Libanaise à Saïda au Liban (2010).
- Ecole Nationale des Ingénieurs de Sousse en Tunisie (2012).
- Faculté de génie électrique, de mécanique et d'architecture navale de Split en Croatie (2013).
- Université Nord d'Antsirana, Madagascar, convention bilatérale avec l'UBP (début : juillet 2013).

✓ *Prix et Distinctions*

- 2 Prix du Jeune Chercheur de la ville de Clermont-Ferrand (2011, 2012).
- Prix de la meilleure thèse Franco-Allemande 2013.
- ANR FIDEL (Nanofils nitrures) : projet phare de l'ANR en 2013.
- CNRS INSIS Fait Marquant 2010 : nanofils ultra-longes GaAs synthétisés par VLS-HVPE.
- Student Presentation Award - 4th International Conference on Sensing Technology, 2010, LECCE (Italie).
- Deux communications internationales primées "Best Papers". Prix du meilleur poster CEM 2014.

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Comité Editorial	Comité de Programme/Organisation	Comité de Lecture
<p>Editeur</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'Encyclopédie Scholarpedia (www.scholarpedia.org) depuis 2010 pour les catégories "Optics" et "Lasers". - Editeur invité pour la revue "International Journal of Antennas and Propagation" (2012). - Membre de l'Editorial Board de la revue "Plant Signaling and Behaviour" (2011). - Editeur associé à la revue "Advanced ElectroMagnetics". - Editeur pour la revue "Journal of Sensors". 	<p>Organisation et comité de programme</p> <ul style="list-style-type: none"> - 17^{ème} Colloque International et Exposition sur la CEM (CEM 2014 Clermont). - Workshop Uncertainty Modeling for ElectroMagnetic Applications (UMEMA 2015). - Colloque national de l'EEA (Clermont-Fd 2013). - Congrès CURIE (2014) ; Salon VALOR'SHS (2015). - First International School on Spinoptronics, Les Houches (2010). - Workshop Relativistic Phenomena in Solids, le Mont-Dore, France (2012). - International school on Indirect Excitons and Polaritons, Les Houches, France (mars 2015). <p>Chair du comité de programme</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2nd Int. School on Spin-Optronics, St. Petersburg (2012). - 1st Int. Conference of Spin-Optronics, Toulouse, (2013). - Workshop "Molecular Electronic Structure 14" 1-5 sept 2014, à Amasya (Turquie) : 75 participants, 20 countries (US, Aus, Canada, Europe, N Africa). - Workshop "Molecular Electronic Structure Theory at Troy", 9-13 sept 2012 à Canakkale (Turquie). <p>Comité de programme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comité scientifique de SETIT (2011, 2012, 2014). - Comité scientifique de CEM (2010, 2012, 2014). - Comité scientifique CMEM (2015). - Symposium on Embedded EMC, (2EMC, Rouen , Septembre 2010), ICWCUCA 2012 Clermont-Ferrand. - Membre du comité scientifique international des International Workshop on Semiconductor Gas Sensors (SGS), Poland. - Workshop "Quantum Systems in chemistry and physics". sept 2010 à Cambridge (UK). - GDR CNRS Pulse : Responsable thématique "Croissance Sélective et Epitaxie Latérale" (2013-2016). - GDR CNRS CORREL : Membre correspondant pour Clermont Université depuis 2010. - JNMO : Membre du comité scientifique des Journées Nano, Micro et optoélectronique. 	<p>Journaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Nature Science Nature Physics Nature Communications Scientific Report Physical Review Lettres, B,A Applied Physics Letters JACS J. of Applied Physics J. Opt. Soc. A, B Optics Letters, Express Journal of Phys. B, D, Cond. Matt. Journal of Optics A Nanotechnology New Journal of Physics Surface Science Surface Interface Analysis Journal of the Am. Chem. Society J. Phys. Chem, Mol. Phys. Int. J. Quantum Chem. Journal of Crystal growth Crystal Growth and Design Physica Status Solidi Journal of Chemical Physics Applied Materials and Interfaces Organics Electronic Talanta Sens. Actuators B: Chemical Atmospheric environment IEEE Power Electronics International Journal of Antennas and Propagation IEEE Antennas and Propagation IEEE ElectroMagnetic Compatibility Computer Physics Communication Progress In Electromagnetics Research (PIER)

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

- Coordination du projet FP7 de type Initial Training Network : Spinoptronics (2009-2013). 12 partenaires, 18 jeunes chercheurs, 3,5 millions d'euros. Coordination de la proposition Spinoptronics_2 soumise en 2015.
- Coordination du projet ANR Blanc CAP-BTX (déc. 2010 - nov. 2013).
- Coordination du projet ANR Blanc POLL CAP (2006-2010).
- Coordination de 2 projets synchrotron SOLEIL (2010 et 2014).
- Comité de management de l'action européenne COST "European Network on New Sensing Technologies for Air-Pollution Control and Environmental Sustainability", depuis mai 2012 (30 partenaires).
- Mars 2010/2013: Présidence élue au niveau national de la Commission E "Compatibilité Electromagnétique" de la branche française de l'Union Radio Scientifique Internationale (URSI).
- C'Nano Rhône-Alpes-Auvergne, Responsable du Soutien à la recherche et animation scientifique.

✓ Expertises

Nombreuses expertises, nationales et internationales dans des domaines très variés. Elles sont commentées dans les textes de présentation des thèmes.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Le fort potentiel applicatif des activités de l'Axe PHOTON est mis en évidence par les 8 brevets déposés, la plupart étant protégés au niveau international. Deux projets issus de ces brevets sont en cours de maturation avec le soutien de la SATT Grand Centre et un projet de maturation est en cours d'évaluation.

L'Axe PHOTON mène également une stratégie dynamique vers l'environnement socio-économique basée sur l'excellence de ses travaux théoriques et expérimentaux. Ses moyens de caractérisation et d'essai sont actuellement inclus dans la plateforme universitaire UBP-Start dirigée par L. Bideux (thème MINAMAT), ce qui augmente la visibilité de l'Axe et facilite la mise en relation avec des entreprises. On peut ainsi faire état de très nombreuses collaborations avec des industriels de tous ordres : PME, grands groupes, en France ou à l'étranger, via des projets de recherche communs, des cotutelles de thèse, etc...

Cette activité de valorisation, de collaboration avec des partenaires non académiques se décline en fonction des spécificités des différents thèmes :

L'expertise des membres du thème CEM a ainsi été mise à contribution dans le cadre de prestations avec de nombreux partenaires socio-économiques en région Auvergne, tels que Tresse Industrie, Babymoov, Exotic Systems, Ligier ou plus largement vers des industriels nationaux, tels que Landis+Gyr ou la Sagem, dans le cadre de nombreux contrats industriels. La valorisation de cette activité se concrétise par le dépôt de 5 brevets (2 mondiaux, 1 européen, 2 nationaux) dont deux font l'objet d'un projet de maturation avec le soutien de la SATT Grand Centre. A noter que l'appui scientifique apporté à la société Tresse Industrie a conduit à la création de 25 emplois dans la région d'Ambert.

L'activité Systèmes & Microsystèmes Capteurs Chimiques de MINAMAT est également à fort potentiel applicatif à court terme. Un brevet International a été déposé en collaboration avec l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand sur le thème "Utilisation de nanomatériaux de carbone en tant que matériaux de filtration imperméable à l'ozone". Un capteur sélectif de NO₂, basé sur ce brevet est en cours de maturation avec le soutien de la SATT Grand Centre.

L'activité Croissance Cristalline et Surfaces et Interfaces de MINAMAT, le thème N2 mènent également des activités à potentiel applicatif dans les domaines de la photonique intégrée pour le transfert et le traitement optique de l'information et de la nanoélectronique. Ces activités induisent des collaborations et des projets avec les laboratoires de recherche des multinationales de l'électronique et de la photonique, tels que le laboratoire de Recherche Européen de Toshiba à Cambridge, Sharp à Oxford, Thalès Research and Technology à Palaiseau, ST MicroElectronics ou des PME/startup françaises ou étrangères. On peut citer ici l'existence de projets de recherche communs avec Aledia (Grenoble), HQ_Graphene aux Pays Bas, Helia Photonics au Royaume Uni. On peut également noter le dépôt de deux brevets internationaux sur la période.

✓ Production

- 8 BRE : WO (3), US (2), EP (1), FR (2)
- 35 rapports techniques : Orange Lab (2010, 2011), IFPEN (2011, 2012, 2013), Landis+Gyr (2010, 2011), 4x CEA Gramat (2010, 2011), CISM (2011), Exotic Systems (2012), Lear Automotiv (2012), Polydyam (2012), Sperian (2012), Ligier (2013), Inra (2014), 6 x Babymoov (2010-2015), 8 x Tresse Industrie (2010 - 2015), 3x SAGEM (2013, 2014, 2015).

✓ Actions de diffusion scientifique vers le grand public

Articles de vulgarisation

- Les Lasers à polaritons, Pour la Science, mars 2011, pages 70-76.
- Dispersion Engineering for Integrated Nanophotonics, WILEY-ISTE, ISBN-10: 1848215649.
- Articles de vulgarisation publiés sur le site web de la région Auvergne (<http://www.auvergnesciences.com>).

Séminaires, expositions, portes ouvertes (quelques exemples)

- Exposition "La microscopie en Auvergne" au Musée Lecoq avec édition d'un ouvrage soutenu par la mission nationale de sauvegarde du patrimoine scientifique et technique contemporain.
- Conférence lors des journées rectorales de formation des enseignants du secondaire sur les Nanotechnologies, 2012 et 2013 (<http://videocampus.univ-bpclermont.fr/>).

- Séminaire lors de la Cinquième Ecole Interdisciplinaire de Rennes sur les Systèmes Complexes : Prise en compte des incertitudes dans les problèmes de compatibilité électromagnétique, Rennes, 2013.
- Conférence au chapitre EMC-IEEE France Section : Gestion des aléas en compatibilité électromagnétique, Télécom ParisTEch, 10 juin 2014.
- Conférence "Voyage dans le temps des ondes électromagnétiques", Université d'Angers, 2013.
- Participation de nombreux chercheurs de l'Axe à la Fête de la Science, Journée Portes Ouvertes, etc...

✓ Liste des contrats

	Type	Nombre	Coordination
Contrats	IND	15	12
	SATT	2	2

Formation

- Master UBP Mention "Sciences de la matière" (Co-Resp. J. Leymarie, Resp. M1 Physique D. Solnyshkov), Resp. Spécialité "Nanostructures et Nanophotonique" (Resp. J. Leymarie).
- Master UBP Mention "Master Ingénierie des Systèmes Electroniques et Energétiques", spécialité Compatibilité Electromagnétique (Resp. M1 L. Berry, M2 P. Bonnet).
- Responsabilité du Département de Physique de l'UBP (Resp. L. Bideux).
- Direction de l'Ecole Doctorale Science pour l'ingénieur (Resp. F. Paladian).
- Responsabilité de filières de dernière année d'école d'ingénieur Polytech Clermont-Ferrand (Départements Génie Physique (Y. André) et Génie Electrique (C. Pasquier)).

Cinq réalisations majeures de l'Axe

- [Etude théorique et réalisation bottom-up de nano-antennes plasmoniques](#). Collaboration avec Duke University, Center for Metamaterials and Integrated Plasmonics et valorisation avec 1 article paru dans Nature (ACL - 12CON741), 1 brevet international (BRE - 13APP694), 1 ANR Jeune Chercheur (ANR PGP).
- [Avancées majeures en Polaritonique excitonique](#). Expérience et théorie, 15 Phys. Rev. Lett, 3 Nat. Phys. 2 Nat. Com, 35 Phys. Rev. B. Démonstration de la condensation de Bose à 300 K dans des microcavités ZnO et GaN. Description des excitations topologiques dans les fluides quantiques spineurs et d'un isolant topologique polaritonique.
- [Nouveaux systèmes de commande électrique pour les véhicules hybrides de demain](#). Projet innovant initié avec l'IFPEN et soutenu par la SATT GC, l'innovation a déjà permis de déposer trois brevets (WO2013182781 A1, FR 31078 et FR 15 50045) et 1 article paru dans IEEE Transactions on Power Electronics. Cette brique technologique est envisagée pour intégrer le programme national "Véhicule 2l/100km".
- [Croissance catalysée de nanofils GaAs et GaN](#). Nanofils ultra-longs de qualité structurale et optique marquant l'état de l'art. 3 Nano Letters, 1 Journal of Chemical Physics, 1 Nanotechnology, 1 Crystal Growth and Design. Collaboration avec Vladimir Dubrovskii (IOFFE St Petersburg), LPN Marcoussis, PMC Polytechnique Palaiseau et CEA INAC Grenoble. 4 conférences internationales invitées.
- [Développement de microcapteurs pour la métrologie sélective à température ambiante de Composés Organiques Volatils](#). 1 ANR Blanc (CAP BTX - coordinateur), collaboration avec Brindisi Research Center of ENEA (Italy) avec 2 séjours invités et une publication commune dans Sensors and Actuators B: Chemical (2015), 4 publications, 5 conférences invitées, 1 PEPS CNRS Mission Interd (PEPS ASTHMAA – coordinateur).

Analyse SWOT

Forces

- Thématiques scientifiques originales, porteuses et très actuelles. Elles combinent des compétences théoriques et expérimentales.
- Les travaux s'inscrivent dans une perspective fondamentale et appliquée et répondent à des demandes sociétales et économiques. Nombreuses actions de valorisation et collaborations industrielles.

- Ce bon positionnement et l'exigence scientifique se traduisent par une production abondante dont la qualité est croissante (222 ACL, 137 ACTI) : 10 articles dans des journaux d'IF>10 (y compris Nature, Science) ; 31 dans des journaux d'IF>5 (y compris 16 Physical Review Letters) ; 97 articles dans des journaux d'IF>3. Ces chiffres sont en progression notable par rapport à la dernière évaluation.
- Grand rayonnement international, mis en évidence par le nombre d'invitations à des conférences (57), la coordination de plusieurs projets, y compris de grands réseaux Européens, l'organisation de plusieurs conférences ou écoles, le taux de citations, facteur h élevés des travaux des leaders scientifiques de l'Axe.
- Activité dynamique en terme de valorisation, via le dépôt de 8 brevets, la plupart internationaux. Deux projets basés sur un ou plusieurs brevets sont en cours de maturation avec le soutien de la SATT Grand Centre.
- Forte interaction avec des partenaires industriels, PME et grandes entreprises en région Auvergne (Tresse Industrie, Babymoov, etc...) et au niveau national (Thalès, ST-Microelectronics, etc...) ou international (Toshiba, Helia Photonics, etc...). 15 Projets de collaboration industrielle dont 12 coordinations.
- Collaborations scientifiques avec les principaux centres de recherche Français (35) et nombreux laboratoires/Universités étrangers (45).

Faiblesses

- Faible interaction avec le tissu économique local pour N2 et MINAMAT.
- Faible flux d'étudiants en Master de Sciences de la Matière.
- Trop faible nombre de chercheurs CNRS.
- Implication chronophage des Enseignants-Chercheurs dans la gestion des formations du Département de Physique et des Ecoles d'Ingénieur du site.
- Faible reconnaissance de la Photonique au niveau de la recherche en Auvergne (Comité d'Animation et de Suivi de la Politique Scientifique de Site).

Opportunités

- Intégration dans la grande Région Rhône-Alpes-Auvergne, ce qui permettra de valoriser dans un cadre régional (programme C'NANO, etc...) les nombreuses collaborations existantes avec nos partenaires grenoblois, lyonnais et stéphanois.
- Possibilité de collaborations vers les autres Axes de l'IP (GePEB, Thérapies Guidées par l'Image - voir Projet de l'Institut Pascal, section 3) et vers d'autres domaines (Biologie, Sciences de la Terre, Chimie).

Risques

- Difficulté de mener à bien des projets scientifiques en raison du faible taux d'acceptation des projets ANR/européens.
- Réduction des crédits récurrents accordés par les tutelles (Université, CNRS), du nombre de bourses de thèse MESR, des recrutements d'enseignants-chercheurs.
- Ciblage de la politique de financement régionale, nationale, et européenne vers des activités liées au soutien du secteur industriel et non vers la recherche académique.

1.2.4.1. Thème N2

Personnels

1 DR, 4 PR, 5 MCF-HDR, 2 MCF, 1 PRAG, 1 IR et 1 PR Chaire d'Excellence

Pierre BIGENWALD (MCF28-HDR, UBP), Emmanuel CENTENO (PR63, UBP), **Pierre DISSEIX** (PR28, UBP), Kofi EDEE (MCF63-HDR, UBP), Nikolay GIPPIUS (Chaire d'Excellence ANR, départ en 2013), Gérard GRANET (PR63, UBP), Joël LEYMARIE (PR28, UBP), Guillaume MALPUECH (DR CNRS, section 08), François MÉDARD (MCF28 depuis septembre 2012, UPB), Martine MIHAÏLOVIC (MCF28-HDR, UBP), Antoine MOREAU (MCF63-HDR, UBP), Rémi POLLÈS (PRAG depuis 2013, UDA), François RÉVERET (IR CNRS, depuis octobre 2010), Rafik SMAALI (MCF63, UBP), Dmitry SOLNYSHKOV (MCF28-HDR, UBP)

Associés

Jean CHANDEZON (PR émérite, UBP), Annie GAVAIX (PR émérite, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (15) : Lala Bakonirina ANDRIAMANAMPISOA (BGF, soutenue Déc. 2010), Faly Tinasoa ANDRIANANDRASANIRINA (BGF, Déc. 2010), Julien ARLANDIS (ANR CLAC, Déc. 2012), Ana Maria ARMEANU (CIFRE, Juin 2011), Jessica BENEDICTO (MESR, Déc. 2013), Hugo FLAYAC (MESR fléchée, Sept. 2012), Emilien MALLETT (MESR, Sept. 2014), François MEDARD (MESR, Déc. 2010), Anton NALITOV (Projet Européen ITN Index, Mai 2015), Laurent OROSZ (MESR, Déc. 2013), Goran PAVLOVIC (MESR fléchée Chaire d'Excellence, Nov. 2010), Rémi POLLES (MESR, Juin 2011), Georges RAKOTONANAHARY (MESR, Avr. 2011), Dmitry VISNEVSKII (Projet Européen ITN Spinoptronics, Juil. 2013), Thomas WEISS (Bourse Univ. Stuttgart, Juin 2011)

Thèses en cours (9) : Mira Kaissar ABOUD (LabEx IMobS3, Sept. 2012 - co-direction Axe GePEB), Rabih AJIB (Fonds propres, Sept. 2013), Barry Mamadou ALIOU (BGF 50%, Sept. 2014), Amira FARHAOUI (LabEx IMobS3, Oct. 2015), Omar JAMADI (MESR, Oct. 2014), Caroline LEMAITRE (MESR, Sept. 2013), Fatima OMEIS (Bourse Liban, Sept. 2014), Manjakavola RANDRIAMIHAJA (BGF, Sept. 2014), Elissa ROCHE (LabEx GaNeX, Oct. 2013)

HDR présentées

Kofi EDEE (2012), Dmitry SOLNYSHKOV (2012)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Hugo FLAYAC (01/10/12-31/03/13, Postdoc ANR Quandys), Berihu Teklu GEBREHIWOT (01/01/14-31/12/15, Postdoc ANR Quandys), Gaëlle Le GAC (01/03/14-30/06/15, Postdoc ANR VESUVE), Emilien MALLETT (01/09/14-31/08/15, Postdoc ANR PGP), Hugo TERCAS (01/05/12-30/04/14, Postdoc Projet Européen ITN Spinoptronics, puis LabEx GaNeX), Paul Henri TICHIT (01/04/14-31/03/15, Postdoc ANR PGP)

Collaborateurs administratifs

Françoise BOHAUD (UBP), Christine TURCAT (UBP)

Identité scientifique

Le thème **Nanophotonique et Nanostructures** de l'Institut Pascal est né du rassemblement de trois opérations de recherche : Electromagnétisme et Nanophotonique (ELENA), Opto-Electronique Quantique et Nanophotonique (OEQN), Opération Spectroscopie des Solides (OSS). Il regroupe donc des théoriciens de la physique du solide, de l'optique électromagnétique et des expérimentateurs en spectroscopie optique. De façon générale, ce thème étudie comment manipuler la lumière et contrôler son couplage à la matière en utilisant des structures semiconductrices, diélectriques ou métalliques de taille nanométrique.

L'opération ELENA décline son activité en deux items principaux intimement liés. Le premier concerne l'expertise dans le domaine des méthodes numériques pour la modélisation et la simulation des phénomènes électromagnétiques de propagation, de diffraction et de rayonnement dans un spectre de fréquences très large puisqu'il va du kilohertz aux fréquences optiques. Le second item concerne l'étude de systèmes photoniques : cristaux photoniques et métamatériaux et plus récemment de plasmon-polaritons. Cette dernière thématique s'est développée via l'étude des propriétés optiques de nanocubes métalliques déposés sur des surfaces diélectriques, et qui supporte des modes photoniques de type gap plasmon, combinant la forte densité de champ électromagnétique typique des modes plasmoniques, avec une faible dissipation.

L'opération OEQN est également une équipe de recherche théorique qui étudie les propriétés photoniques de nanostructures de semiconducteurs (polaritonique excitonique), telles que des microcavités planaires, ou des systèmes plus complexes (molécules, réseaux périodiques polaritoniques). Le groupe étudie les propriétés collectives des modes polaritoniques telles que la condensation de Bose-Einstein, le

comportement de type fluide quantique avec les propriétés superfluides et les excitations topologiques associées (vortex solitons). Le rôle joué par le degré de liberté de spin est particulièrement étudié. OEQN a décrit un schéma d'implémentation d'isolants topologiques polaritoniques et étudie les propriétés des fluides quantiques dans les systèmes topologiquement non triviaux. Un autre axe de recherche important adresse la description de composants polaritoniques (switch, transistor, interféromètre, laser à polaritons). Cette activité implique en partie l'étude de structures réalisées à partir de semiconducteurs à grand gap (GaN, ZnO) en lien avec le groupe de spectroscopie optique OSS, ou de nouveaux matériaux 2D tels que MoS₂.

L'opération OSS s'est spécialisée dans l'étude par spectroscopie optique de l'interaction lumière-matière dans les nanostructures réalisées à partir de semiconducteurs à grand gap (GaN, ZnO) fonctionnant dans le bleu-UV. Les processus optiques sont étudiés à l'aide d'expériences de spectroscopie fine (macro et micro-réflexivité, transmission, micro-photoluminescence, imagerie de Fourier, autocorrélation interférentielle à l'échelle de la femtoseconde, mélange à quatre ondes dégénérées résolu en temps et spectralement). Les structures étudiées sont d'une part des cavités planaires et leurs constituants (puits, miroirs etc..) fonctionnant en régime de couplage faible pour la réalisation de VCSEL UV, ou en régime de couplage fort pour la réalisation de lasers à polaritons fonctionnant à température ambiante. Cette dernière est menée en lien direct avec le groupe théorique OEQN. D'autre part OSS a développé une expertise dans l'étude de nano-objets individuels ce qui lui permet l'étude de nanofils GaN, comme ceux produits par le thème MINAMAT de l'IP, ou d'autres partenaires.

Au niveau local, les trois opérations scientifiques de N2 ont un fonctionnement et des lignes budgétaires autonomes mais leurs activités scientifiques sont connexes, complémentaires et menées en partenariat. Ceci se traduit par la participation des différentes équipes aux mêmes projets de recherche, la publication d'articles communs et le co-encadrement de thèses. Cette unité thématique permet également le développement d'une animation scientifique de qualité qui se traduit par la tenue de nombreux séminaires de thème, souvent dispensés par des invités extérieurs et qui permet des échanges et un enrichissement mutuel. Par ailleurs, la gouvernance du thème est assurée par un responsable, Pierre Disseix, en concertation avec les responsables des 3 équipes qui le composent, à savoir Gérard Granet (ELENA), Joël Leymarie (OSS) et Guillaume Malpuech (OEQN).

Contexte

L'ensemble des activités du thème N2 est à la pointe de la recherche au niveau mondial. L'opération ELENA jouit d'une reconnaissance de premier plan fondée sur ses propres méthodes numériques et sur des études théoriques originales autour des métamatériaux hyperboliques. Plus récemment une dynamique très prometteuse attestée par la parution d'un article du groupe dans Nature a émergé autour des plasmon-polaritons. Le groupe OEQN est un des groupes pionniers de la polaritonique-excitonique. Ses activités ont fortement contribué au développement remarquable de ce domaine de recherche depuis une quinzaine d'années. Ce leadership perdure aujourd'hui comme cela est mis en évidence par le nombre de citations annuel des chercheurs d'OEQN (~550), la production scientifique, la coordination de grands projets de recherche internationaux. L'opération OSS dispose d'un savoir faire expérimental s'appuyant sur des techniques de spectroscopie et micro-spectroscopie adaptées à l'étude de l'interaction lumière-matière dans les nanostructures à base de semiconducteurs tels que GaN et ZnO. Elle est à la pointe d'un des domaines clefs de la polaritonique excitonique visant à aller vers la réalisation de composants polaritoniques commerciaux fonctionnant à température ambiante, et donc basés sur l'utilisation de semiconducteurs à grand gap.

A travers l'avancée des recherches de l'ensemble du thème N2, de nouveaux concepts physiques permettent d'envisager la réalisation de composants optoélectroniques. Les microcavités en régime de couplage fort lumière matière sont des objets d'étude importants, de même que la manipulation fine de la lumière grâce à des cristaux photoniques, des métamatériaux ou des structures plasmoniques. Les applications envisagées sont nombreuses. Parmi les plus prometteuses, on peut citer le laser à polaritons, l'isolateur optique ou les nanoantennes plasmoniques.

Au niveau national et international, les activités du thème sont menées en collaboration avec de nombreux groupes académiques et non académiques en France et dans le monde (une trentaine). Le thème jouit ainsi d'une reconnaissance internationale forte qui se traduit par un nombre élevé de publications (134 sur la période 2010-2015) dont un bon nombre dans des revues à fort impact (comme Nature (1), Science (1), Nature Phys./Com (5), Nanoletters (1), Physical Review Letters (16), Physical Review X (1) ou Optics Express (3)), de brevets internationaux (2), par des exposés invités lors de conférences internationales (29 sur la période 2010-2015), et par de nombreuses participations à des projets nationaux (1 Chaire d'Excellence, 5

projets ANR, participation à 2 Labex) ou internationaux (4 projets européens dont 1 coordonné par le thème sur la période considérée).

Depuis 2000, le thème N2 a produit 350 articles, cités environ 5000 fois (plus de 800 citations en 2015). 10 articles ont été cités plus de 100 fois, et 37 plus de 50 fois (source Web of Science).

Réalisations

1. Electromagnétisme et nanophotonique (ELENA)

L'opération ELENA est à l'origine d'une méthode d'étude de la diffraction des ondes électromagnétiques reconnue par les spécialistes internationaux de la photonique : la méthode C. Cependant, les outils numériques développés n'ont pas pour seule vocation de calculer mais également de comprendre les phénomènes physiques. C'est pourquoi une importance particulière est accordée aux méthodes modales qui constituent l'outil naturel pour l'investigation et l'expérimentation numérique dans le champ des cristaux photoniques, des métamatériaux et de la plasmonique.

- **Cristaux photoniques et métamatériaux**

Les cristaux photoniques présentent des propriétés optiques remarquables qui permettent de réaliser de nouveaux composants pour l'optique intégrée. C'est dans ce cadre que l'opération ELENA a contribué à la conception de nouvelles cavités laser lors d'une collaboration nationale soutenue par l'ANR (cf. fiche Slow light self-collimation in photonic crystal superlattices). Nous avons proposé de nouvelles structures à base de cristaux photoniques combinant l'effet d'auto-collimation qui supprime la diffraction de la lumière et le ralentissement des ondes électromagnétiques. Ces travaux ont notamment été valorisés par un article paru dans Phys. Rev. Lett. et ont abouti à la démonstration de l'effet laser dans ces nouvelles cavités. L'équipe s'intéresse également à une seconde classe de matériaux artificiels appelés métamatériaux qui présentent des propriétés électriques et magnétiques inconnues dans la nature. Parmi les nombreuses approches existantes, les métamatériaux hyperboliques sont des systèmes relativement simples constitués de multicouches métal-diélectriques. Ils présentent une forte anisotropie optique utilisée pour réaliser de nouvelles lentilles plates pour une imagerie sub-longueur d'onde. Les travaux théoriques réalisés par l'équipe ont permis des avancées significatives pour la conception de lentilles optimisées présentant une super-résolution à des distances focales augmentées par rapport à l'état de l'art.

- **Méthodes numériques avancées**

Aujourd'hui, l'expérimentation numérique précède l'expérimentation réelle et il est crucial de ne pas confondre un artefact numérique avec un phénomène physique. En électromagnétisme, parmi les méthodes numériques, les méthodes modales jouent un rôle particulier car en plus de calculer elles décrivent les phénomènes de propagation en permettant de les interpréter. Dans un premier temps, la méthode modale a été implémentée avec des polynômes de Gegenbauer puis avec ces mêmes polynômes de nouvelles bases ont été construites. Les résultats obtenus font partie des meilleurs résultats publiés jusque là en terme de convergence et de précision concernant des réseaux de diffraction 2D. Dans le cadre du LabEx IMobS3, l'opération intervient également pour l'optimisation des anodes des cellules photovoltaïques (intégration d'algorithmes génétiques d'optimisation dans des codes électromagnétiques) et pour la conception des couches à gradient d'indice (collaboration locale avec l'ICCF, Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, UMR CNRS 6296) intéressantes pour des cellules de grande dimension et à faible coût. Réciproquement, les métamatériaux donnent naissance à des problèmes théoriques nouveaux : par exemple la diffraction sur arête en présence de milieux à epsilon négatif. Très peu d'équipes dans le monde s'intéressent à ce défi, toujours sans solution pour certains cas.

- **Plasmonique**

Au sein de l'opération ELENA, Antoine Moreau, grâce à un CRCT accordé au titre du CNU, a effectué un séjour d'un an (2011-2012) dans l'équipe de David R. Smith, à Duke University, au sein du "Center for Metamaterials and Integrated Plasmonics". Ce séjour aux objectifs mûrement réfléchis a entraîné l'équipe dans une dynamique extrêmement porteuse et lui permet de jouer un rôle leader à tous les niveaux. De nombreux projets collaboratifs ont ainsi vu le jour au sein de l'Axe PHOTON, mais aussi au niveau de l'Université Blaise Pascal, ainsi que nationalement et internationalement. L'oscillation collective des électrons dans les métaux conduit à des modes de propagation particuliers à l'interface de ces derniers et de matériaux diélectriques. Parmi le bestiaire de ces modes, le gap-plasmon apparaît dans une couche de diélectrique d'épaisseur nanométrique limitée par deux métaux. L'opération ELENA a proposé des structures, faciles à fabriquer à bas coût et avec une technologie simple. Ces structures sont des nanocubes synthétisés chimiquement déposés sur un film diélectrique presque aussi fin que l'on veut, lui-même placé sur un substrat métallique. Ainsi, un gap plasmon peut être excité sous le cube. Grâce à la faible épaisseur de la cavité et à l'indice effectif très élevé du gap plasmon, il est possible de concevoir des composants miniatures, *a priori* peu chers, aux propriétés remarquables : absorbeurs parfaits sélectifs, antennes patches

ultra directives ou omni-directionnelles. La structure fait l'objet d'un brevet et a donné lieu à un article publié dans Nature. D'autre part, la longueur d'onde du gap-plasmon est capable de devenir assez petite pour qu'un autre effet entre en jeu : la non-localité, ou dispersion spatiale. Le savoir faire numérique original de l'équipe va être utilisé pour explorer ces effets physiques nouveaux. C'est l'objectif de l'ANR Jeune Chercheur "Physique des Gaps Plasmons" coordonnée par Antoine Moreau (2013-2017).

2. Polaritonique excitonique

Depuis le début des années 2000, le thème est un des groupes leader des études théoriques et expérimentales de la polaritonique excitonique. C'est d'ailleurs à travers cette reconnaissance internationale que le thème a pu élargir à ou même coordonner différents projets nationaux et européens. Au cours des cinq dernières années, l'activité en polaritonique s'est focalisée sur quatre champs de recherche majeurs, partiellement détaillés dans les fiches scientifiques ci-dessous.

- **Etude théorique de fluides quantiques de lumière spineurs (OEQN)**

L'opération OEQN a dédié une partie de son activité à l'étude théorique de fluides quantiques de lumière spineurs (fiche "Spinor Quantum Fluids of Light"). Cette activité s'est fortement développée depuis 2009 et s'est traduite par la démonstration par le Laboratoire Kastler Brossel (LKB) du comportement superfluide d'un gaz de polaritons. Elle est menée en collaboration avec le LKB (groupe de Bramati), l'Université de Madrid (Vina), Southampton (Kavokin), Singapour (Shelykh), notamment et a donné lieu à une production scientifique très abondante. Il s'agit d'un sujet qui a été soutenu par l'ITN Spinoptronics, l'ITN Index, l'ANR Quandyde et qui fait l'objet d'une proposition ANR coordonnée par l'IP.

- **Circuits polaritoniques (OEQN)**

L'étude théorique de condensats polaritoniques dans les systèmes de basse dimensionnalité, les circuits à polaritons, et des schémas de composants polaritoniques (fiche "Exciton-Polariton condensates in low dimensionality systems, Polariton circuits and devices") a démarré en 2009. Cette activité basée essentiellement sur l'étude des microcavités de GaAs gravées est menée en collaboration très étroite avec le LPN (groupe Bloch/Amo/Lemaitre) qui fabrique les structures et les étudie expérimentalement. Cette activité est soutenue par l'ANR Quandyde et l'ITN Clermont4.

- **Etude théorique d'effets topologiques dans les systèmes polaritoniques et photoniques (OEQN)**

Cette activité récente et initiée en 2013, est dédiée à l'étude théorique d'effets topologiques dans les systèmes photoniques et polaritoniques (Fiche "Polariton Z topological insulator"), par exemple dans des analogues polaritoniques de graphène. Ces travaux ont permis la publication de 2 Phys. Rev. Lett. et un Phys. Rev. X en 2015. Ce nouveau domaine de recherche visant à créer des états photoniques propagatifs immunisés par rapport au désordre structural en raison des propriétés topologiques d'un système, est à la base d'une proposition de projet ITN H2020 coordonné par G. Malpuech. Ce projet vise également à insérer les nouveaux matériaux 2D "au-delà du graphène" de la famille MoS₂, et des hétérostructures de Van der Waals dans des microcavités, avec pour but ultime l'obtention d'effets topologiques à température ambiante pour les systèmes polaritoniques. Des travaux préliminaires démontrant le couplage fort entre des hétérostructures de Van der Waals MoSe₂/hBN et un mode de cavité optique ont été obtenus dans le cadre d'une collaboration entre l'IP, Sheffield (Tartakovskii) et Manchester (Novoselov) et seront prochainement publiés dans Nature Communication.

- **Etude de la condensation des polaritons dans des microcavités à base de GaN et ZnO (OSS, OEQN)**

Cette activité à fort potentiel applicatif est dédiée à l'étude théorique et expérimentale de structures polaritoniques élaborées à partir de semiconducteurs à grand gap GaN et ZnO, pour la réalisation effective d'une nouvelle génération de composants optoélectroniques fonctionnant à température ambiante et avec des seuils de fonctionnement très faibles. Ces travaux sont menés en collaboration étroite avec le CRHEA (UPR CNRS 10), le LPN (UPR CNRS 20) et le L2C (UMR CNRS 5221). Ils sont soutenus par le LabEx GaNeX et font l'objet d'une proposition en 2015 d'un projet ANR collaboratif avec ces partenaires.

Après avoir analysé les propriétés linéaires de microcavités à base de ZnO (thèse de F. Médard soutenue en décembre 2010), l'effort a été porté sur la conception et la réalisation de cavités permettant de mettre en évidence la condensation des polaritons. Le phénomène a été mis en évidence à basse température (T=5K), et jusqu'à 120K, dans une structure hybride constituée de ZnO massif épitaxié sur un miroir de Bragg à base de nitrures, un miroir à base de diélectriques HfO₂/SiO₂ constituant le miroir supérieur. Une cavité tout hybride a ensuite été réalisée ; elle comporte une zone active de ZnO massif de très bonne qualité insérée entre deux miroirs de Bragg HfO₂/SiO₂. Cette structure a permis l'observation de la condensation des polaritons jusqu'à 300K et d'étudier de façon approfondie le lien qui existe entre la fraction photonique des polaritons qui dépend du désaccord optique et la valeur du seuil d'injection optique correspondant à l'effet laser à polaritons. L'influence des interactions exciton-phonon est particulièrement soulignée comme un processus permettant de diminuer le seuil de condensation (thèse L. Orosz soutenue en décembre 2013).

L'analyse comparée des propriétés de ZnO et GaN pour l'obtention d'un laser à polaritons a été menée par l'examen de deux cavités similaires élaborées sur un substrat de silicium présentant une structure à mesas. Les variations du seuil laser ont été mesurées de 5K à 300K pour diverses valeurs du désaccord optique de la cavité et sont comparées aux calculs théoriques développés dans l'équipe OEQN. L'abaissement du seuil grâce aux interactions polariton-phonon est également observé à partir des simulations ; il faut noter que ces processus semblent plus efficaces dans ZnO que dans GaN (thèse E. Mallet, 2011-2014 ; thèse O. Jamadi débutée en octobre 2014).

3. Etude expérimentale des propriétés de GaN et de ZnO (OSS)

La connaissance des propriétés excitoniques de GaN et ZnO est essentielle pour l'analyse et la modélisation des résultats obtenus dans les microcavités présentant le régime de couplage fort lumière-matière. Des expériences d'optique non-linéaire de mélange à quatre ondes dégénérées dans l'UV ont été développées (Thèse E. Mallet, 2011-2014) afin de déterminer précisément l'origine de l'élargissement spectral des excitons de GaN et ZnO. Ces expériences délicates à mettre en œuvre, associées aux expériences bien maîtrisées dans l'équipe telles que la réflectivité, l'auto-corrélation de réflectivité à l'échelle de la femtoseconde et la photoluminescence, ont permis de déterminer pour chacun des matériaux GaN et ZnO les contributions homogène et inhomogène de l'élargissement spectral des excitons. Les forces d'oscillateur des excitons A et B ont également été déduites avec précision. L'analyse conjointe de l'ensemble des données expérimentales a montré que l'élargissement spectral des excitons de ZnO est principalement homogène, y compris aux températures de l'hélium liquide (interaction avec les impuretés) alors que dans GaN, à basse température, il est essentiellement inhomogène (variations locales de la contrainte résiduelle).

4. Caractérisation optique de micro- et nanofils de GaN et d'(In,Ga)N (OSS - collaboration avec thème MINAMAT)

Le développement de cette nouvelle activité au sein de l'opération spectroscopie des solides répond au besoin formulé par le thème MINAMAT pour des études systématiques des propriétés optiques de micro- et nanostructures à base de GaN et d'(In,Ga)N élaborées par la méthode de croissance aux hydrures (HVPE). Le banc de micro-caractérisation optique aménagé lors de l'exercice précédent (2006-2010) a fait l'objet d'améliorations continues pour étudier un objet unique de dimensions nanométriques : limitation des vibrations, optique de visualisation par caméra, mise en forme du faisceau laser d'excitation. Des cartographies de micro-PL et micro-réflectivité de couches de GaN élaborées par ELOG-HVPE (epitaxial lateral over-growth) mettent en évidence une qualité optique des structures remarquable (faibles élargissements excitoniques, faible concentration en impuretés) ainsi que de faibles variations locales de la contrainte.

La spectroscopie de nanofils uniques de GaN élaborés par VLS-HVPE (vapeur-liquid-solid) a démontré la très bonne qualité cristalline des fils avec un très faible élargissement spectral de la transition associée à la recombinaison de l'exciton lié au donneur neutre et une faible incorporation d'impuretés et de défauts (absence de bande jaune).

La synergie de l'opération spectroscopie des solides avec l'équipe de "Croissance cristalline" du thème MINAMAT se traduit par une activité commune dans le cadre d'une thèse portant sur la réalisation et la caractérisation de nanofils de GaN et d'(In,Ga)N (thèse E. Roche débutée en octobre 2013, financement LabEx GaNeX) et d'un projet exploratoire axé sur l'utilisation de nanofils GaN comme guides de lumière (PEPS GaNact). L'équipe de spectroscopie a apporté son soutien aux activités de croissance via des caractérisations optiques accompagnées de simulations de réseaux denses de fils de GaN synthétisés par croissance sélective (SAG-HVPE) dans le cadre de l'ANR FIDEL (2012-2015).

5. Etude des propriétés optiques et électroniques d'hétérostructures (Al,Ga)N/(Al,Ga)N pour la réalisation d'un laser UV à cavité verticale émettant par la surface (VCSEL) (OSS)

Cette activité fait suite au travail de thèse de Georges Rakotonanahary (avril 2011) sur la mesure des forces d'oscillateur de puits quantiques GaN/(Al,Ga)N par réflectivité résolue en angle et par photoluminescence résolue en temps à l'échelle de la pico-seconde en fonction de la température (collaboration LPCNO, Toulouse). Nous avons montré au cours du contrat VESUVE (ANR blanc 2012-2015), tant par l'expérience que par les calculs, que l'élaboration de puits quantiques (Al,Ga)N contraints par une barrière d'(Al,Ga)N de composition en aluminium plus importante permet de conserver de la force d'oscillateur pour la transition fondamentale en mode TE qui correspond à l'émission d'un laser VCSEL. Les caractérisations optiques ont regroupé des expériences de réflectivité, de transmission et de photoluminescence en polarisation pour diverses températures allant de 5K à 300K. L'objectif final de ce projet est la réalisation d'un démonstrateur pompé optiquement. La structure de la zone active a été optimisée et réalisée et les miroirs de Bragg à base de matériaux diélectriques ont été élaborés ; il ne reste plus qu'à associer les éléments au sein d'un même composant. Cette dernière étape est programmée pour la fin du contrat.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques	
#51	Slow light self-collimation in photonic crystal superlattices
#52	A new numerical modal method based on Gegenbauer polynomial expansion
#53	Extremely efficient light absorption by nanocube-based resonators
#54	Exciton-polariton condensates in low dimensionality systems, polariton circuits and devices
#55	Topological excitations in spinor quantum fluids of light: magnetic monopole behavior and collective properties
#56	Polariton Z topological insulator
#57	Room temperature polariton condensation based on ZnO and GaN microcavities
#58	Accurate determination of excitonic parameters of GaN and ZnO by linear and non-linear spectroscopies
#59	Optical properties of AlGaIn/AlGaIn heterostructures for the realization of a solid-state vertical surface emitting laser operating at 280 nm

Projets collaboratifs académiques

Sur la période considérée, un gros effort a été mené par les différentes opérations scientifiques composant le thème pour coordonner ou participer à des projets ANR ou européens soit en tant que coordinateurs soit en tant que partenaires. Dans un premier temps, l'excellence des acteurs a permis l'obtention de nombreux projets qui ont fortement contribué au bilan remarquable du thème. Malheureusement, l'effondrement récent des taux de réussite (8% au niveau national actuellement, 5% sur les projets collaboratifs Marie Curie), les difficultés pour les théoriciens de répondre avec succès aux appels d'offre ERC se sont très concrètement traduits par une réussite quasi nulle au cours des dernières années. Par exemple, deux projets ERC déposés par G. Malpuech en 2009 et 2011 ont été évalués A, mais non financés. C'est également le cas pour plusieurs projets ANR évalués positivement, mais finalement non financés. On peut clairement exprimer une crainte quant aux flux financiers de soutien à la recherche fondamentale. Cette situation met en difficulté le fonctionnement futur des opérations scientifiques comme celles du thème N2, et à une échelle plus large, de l'ensemble du système de recherche académique européen. De plus, il est important de souligner ici l'implication d'une majorité d'enseignants-chercheurs dans le montage de ces projets alors que ces personnels doivent en permanence faire le "grand écart" entre différentes tâches, de plus en plus nombreuses (enseignement, recherche, administration des formations et réalisation des nouvelles maquettes de diplômes, montage des projets de recherche...). Malgré ce contexte difficile, le thème a été impliqué/a coordonné 6 projets ANR et 6 projets internationaux. OEQN et OSS font aussi partie d'un laboratoire d'excellence "GaNeX" regroupant au niveau national les laboratoires ayant une activité reconnue sur les nitrures semiconducteurs. J. Leymarie est le coordinateur local pour ce LabEx. Sur le site clermontois, ELENA émerge partiellement au LabEx IMobS3.

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR Blanc	FIDEL	P	2010-2014	Nanofils d'InGaIn pour la réalisation de diodes électroluminescentes.
	ANR Blanc	QUANDYDE	P	2011-2015	Dynamique quantique de condensats de polaritons excitoniques.
	ANR Blanc	VESUVE	P	2011-2015	Vertical Surface emission laser operating in UV range.
	ANR Jeune Chercheur	PGP	C	2013-2017	Physique des gaps plasmons.
	ANR Blanc	CLAC	P	2009-2012	Cristaux photoniques.
	PEPS CNRS	GaNact	C	2014	Guides optiques à base de nanofils à base de GaN.
	LabEx	GaNeX	P	2011-2020	Matériaux à bases de nitrures.
	LabEx	IMobS3	P	2011-2020	Mobilité innovante des personnes, des biens et des machines.
Internationaux	FP7 M.Curie Initial Training Network	Spin- Optronics	C	2009-2013	Spin effects for Quantum Optoelectronics.
	FP7 M.Curie Initial Training Network	Index	P	2011-2015	Physics of Indirect Excitons.
	FP7	Clermont4	P	2009-2013	Physics of cavity Polaritons.

	M.Curie Initial Training Network				
	FP7 IRSES	Polaphen	P	2011-2014	Polaritons and Graphene.
	PICS-CNRS France Russie.	Polaritons	C	2009-2011	Semiconductor microcavities for spin- optronics applications.
Autres	CPER	Innov@Pôle	P	2009-2013	Contrat de Projet Etat-Région.
	CPER	MMaSyF	P	2015-2020	Contrat de Projet Etat-Région.

Production scientifique

Le bilan des publications pour le thème N2 est très positif. Le nombre de publications (134) dans des revues internationales est élevé, mais c'est surtout la qualité des journaux dans lesquels ces publications sont parues qui est remarquable et en forte progression par rapport au bilan AERES précédent.

On peut aussi noter de nombreuses publications dans des revues à très fort impact telles que Nature, Science, Nature Physics, Nature Communication, Nano Letters, Phys. Rev. X, Phys. Rev. Lett. Ainsi 25 articles ont été publiés dans des journaux avec un facteur d'impact (IF) supérieur à 7 et plus de 80 articles ont également été publiés dans des journaux d'IF supérieur à 3.

L'ensemble des opérations scientifiques du thème participent à ce bilan avec de nombreuses publications significatives.

Publications, communications orales, ouvrages et logiciels sur la période 2010-2015	Nombre
ACL	
Nature (1) Science (1) Nature Physics (3) Nature Communication (2) Nano Letters (1) Phys. Rev. X (1) Phys. Rev. Lett.(16)	Physical Review B ou A (39) J. of Phys. Chem. Lett.(1) Opt. Lett. (3) Appl. Phys. Lett. (5) Opt. Express (3) JOSA A (13)...
	134
OS	
H. Flayac, D. Solnyshkov, G. Malpuech, Chapter p 71-98: <i>Spin effects in polariton condensates, from half solitons to analog of wormholes</i> , Springer series in solid state science 177, Edited by A. Bramati and M. Modugno, (2013).	
G. Malpuech, D. Solnyshkov, Chapter <i>Disorder effects on exciton-polariton condensates</i> , Exciton-Polaritons in Microcavities, Springer series in solid state science 172, Edited by D. Sanvitto and V. Timofeev, (2012).	
G.Granet » Coordinate transformation methods », Chap 8 in « Gratings : theory and numeric applications » Presses Universitaires de Provence (PUP) ISBN:2-8539-9860-4 (2011)	
	3
ACTI	
	13
INV	
Quelques exemples : - D.D. Solnyshkov et al., <i>Half-solitons as magnetic monopoles and their observation in spinorpolariton condensates</i> , International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS), 2012 (Zurich). - D.D. Solnyshkov, et al. <i>Spin-Orbit Coupling in Polariton Graphene: Optical Spin Hall Effect and Z Topological Insulator</i> , 6th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, META 2015 (New York). - G. Malpuech et al., <i>Generation of magnetic monopoles in spinorpolariton condensates</i> , 12 th conference on the Physics of Light-Matter Coupling (PLMCN12), Hangzhou, China, June 2012. - G. Malpuech et al. <i>Polariton Z topological insulator</i> , Hybrid Photonics and Materials May 2015, Santorini, Greece. - J. Benedicto et al. <i>Conception de lentilles plates à base de métamatériaux hyperboliques pour une imagerie super résolue</i> , Congrès National Métamatériaux, Octobre 2013, Orsay. - A. Moreau et al , <i>Impact of Nonlocality on Gap-plasmon Resonators and Multilayered Structures</i> , Progress In Electromagnetics Research Symposium, Guangzhou, China, August 2014. - G. Granet, <i>Analysis of bi-periodic composite materials made of stacks of tilted one dimensional arrays of rods</i> , Joint session of CLEO-EQEC and SPIE Optical Metrology, Munich 2015.	
	29

COM	54
Rapports scientifiques pour l'Observatoire des Micro et Nano Technologies (OMNT)	21
Logiciel à vocation recherche et vulgarisation : http://elma.univ-bpclermont.fr/moreau/moosh/	1

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Citations, facteur h des leaders scientifiques du thème (source WOS)

- G. Malpuech, 4100 citations, 554 en 2014, h=39.
D. Solnyshkov, 2000 citations, 374 en 2014, h=26.
G. Granet, 1269 citations, 124 en 2014, h=18.
J. Leymarie, 1264 citations, 101 en 2014, h=17.

✓ Invitations et attractivité internationales

Invitations sur la période 2010-2015	
Entrants Chaire d'Excellence ANR : N. Gippius (2006-2013) Professeurs invités (UBP, Projet Polaphen) A. Kavokin (Southampton) (1 mois) I. Shelykh (Singapour) (1 mois) M. Glazov (St Petersburg) (1 mois) M. Semina (St Petersburg) (1 mois) S. Tarasenko (St Petersburg) (1 mois) L. Golub (St Petersburg) (1 mois) M. Nestoklon (St Petersburg) (1 mois) M. Podubny (St Petersburg) (1 mois) T. Liew (Southampton) (1 mois) T. Espinosa (Morelos, Mexique) (1 mois) T. Shubina (St Petersburg) (1 mois) L. Li (Tsinghua) (3 mois)	Sortants G. Granet à Tsinghua (Chine) (15 j. 2012 - 15 j. 2013) G. Granet à Xanthi, Democritus University of Thrace (Grèce) (15 j. 2014) Séjour d'une année (2011-2012) d'A. Moreau à Duke University

✓ Collaborations

Collaborations se traduisant par des publications communes 2010-2015 : 31	
National Institut Néel Grenoble LPN Marcoussis CRHEA Valbone LKB Paris L2C Montpellier CETP Université Versailles-Saint Quentin LEST Université de Bretagne Institut Femto-St Université de Franche Comté Institut Hubert Curien Université Jean Monnet de Saint Etienne Institut des Nanotechnologies de Lyon, ECLyon UMI Georgia Tech-CNRS, Supelec (Metz)	International Université de Reykjavik (Islande) Université de Singapour (Singapour) Ioffe Institut Saint Petersburg (Russie) Université de Southampton (Royaume Uni) Université Autonome de Madrid (Espagne) Université de Cambridge (Royaume Uni) EPFL Lausanne (Suisse) Université de Moscou (Russie) Université de Sheffield (Royaume Uni) Université de Manchester (Royaume Uni) Université de Dortmund (Allemagne) Université de Stuttgart (Allemagne) Université de Trento, (Italie) FORTH, Héraklion, (Grèce) Université de Shanghai, (Chine) Université de Strathclyde, Glasgow (Royaume Uni) Université de Tsinghua, Pékin (Chine) IRENAS, Kharkov (Ukraine) School of Sciences and Technology Helsinki (Finlande) Université Technique Eindhoven (Pays Bas)

Co-encadrements :

- J. Nilsson, co-encadré par G. Malpuech et M. Stevenson, Toshiba Research Europe Limited, Cambridge.
Sujet : Electrically generated entangled light for optical quantum information applications.

- T. Weiss, co-encadré par N. Gippius, G. Granet et H. Giessen (Université de Stuttgart).
Sujet : Modélisation numérique de structures nanophotoniques.

- F. Omeis, co-encadré par T. Taliercio (Institut d'Electronique et Systèmes, Université Montpellier 2).

✓ Prix et Distinctions

Prix du Jeune Chercheur de la ville de Clermont-Ferrand attribué par la Mairie de Clermont-Ferrand :

2012 : Hugo Flayac (MESR fléchée, Sept. 2012) pour ses recherches sur les monopoles magnétiques et la magnétoélectricité.

2013 : Rémi Pollès (MESR 2011) pour son travail mené sur les propriétés optiques des métamatériaux.

Prix de la meilleure thèse attribué par l'Université Franco-Allemande à Thomas Weiss (Bourse Univ. Stuttgart) pour ses travaux sur la modélisation numérique de structures nanophotoniques (2013).

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
Editeur depuis 2010 de l'Encyclopédie Scholarpedia (www.scholarpedia.org) pour les catégories Optics et Lasers.	Organisation et comité de programme <ul style="list-style-type: none">- First International School on Spinoptronics, Les Houches (2010).- Workshop Relativistic Phenomena in Solids, le Mont-Dore, France, (2012).- International school on Indirect Excitons and Polaritons, Les Houches, France (mars 2015). Chair du comité de programme <ul style="list-style-type: none">- Second International School on Spinoptronics, St. Petersburg (2012).- First International Conference of Spin-Optronics, Toulouse (2013). Membre du comité de programme <ul style="list-style-type: none">- Congrès National Métamatériaux (2013).- Conférence internationale SPIE Photonics Europe.	Referee <ul style="list-style-type: none">Nature ScienceNature PhysicsNature CommunicationsScientific ReportPhysical Review LettersPhysical Review BPhysical Review AApplied Physics LettersJournal of Applied PhysicsNew Journal of PhysicsSolid State CommunicationsJ. Opt. Soc. A, BOptics Letters, Optics ExpressJournal of Physics B, D, Cond. Matt.Journal of Optics ANanotechnology

✓ Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques

- Coordination du projet FP7 de type Initial Training Network [Spinoptronics](#) (2009-2013) : 12 partenaires, 18 jeunes chercheurs, 3,5 millions d'euros. Coordination de la proposition [Spinoptronics_2](#) soumis en janvier 2015.
- C'Nano Rhône-Alpes-Auvergne, Responsable du Soutien à la recherche et animation scientifique.

✓ Expertises

- E. Centeno et A. Moreau sont experts à l'Observatoire des Micro- et Nanotechnologies (OMNT) dans la thématique Matériaux et composants pour l'optique.
- Expertise de projets : ANR, Department of Energy, Basic Energy Sciences (USA), Israel Science Foundation, Icelandic research fund (Iceland), Région Rhone-Alpes.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Les activités de recherche de N2 ont un fort potentiel applicatif dans les domaines de la photonique intégrée pour le transfert et le traitement optique de l'information limitant les processus de conversion électronique/photonique. Ainsi, la polaritonique excitonique est un domaine de recherche prometteur pour la réalisation de composants optoélectroniques à très bas seuil et possédant des fonctionnalités nouvelles. Dans ce cadre, les structures polaritoniques basées sur les semiconducteurs à grand gap, largement étudiées à l'IP et permettant le fonctionnement de ces composants à température ambiante sont d'excellentes candidates. On peut également citer le potentiel offert par les nouveaux matériaux 2D de

la gamme MoS₂, et également la possibilité de réaliser des isolants topologiques photoniques permettant le transport photonique unidirectionnel et supprimant les processus de réflexion rétrodiffusifs à la création de circuits photoniques intégrés.

Ces activités induisent des collaborations et des projets avec les laboratoires de recherche des multinationales de l'électronique et de la photonique, tels que Sharp à Oxford ou le Laboratoire de Recherche Européen de Toshiba à Cambridge, qui étaient partenaires associés et bénéficiaires et du projet spin-optronics respectivement. On peut mentionner une cotutelle de thèse avec Toshiba avec pour sujet l'étude de la génération par pompage électrique de paires de photons intriqués pour des processus d'information quantique. Dans le cadre de la proposition Spin-Optronics_2, le laboratoire de Physique de Thalès Research and Technology à Palaiseau envisage le développement d'applications telles que la mesure de rotation basée sur la physique de fluides quantiques placés dans des isolants topologiques photoniques. Ce projet inclue également des PME/Start-up telles que HQ_Graphene aux Pays Bas, ou HeliäPhotonics au Royaume Uni. On peut également noter le dépôt de deux brevets Internationaux sur la période. Le premier brevet décrit un système d'injection électrique d'un laser à polaritons, le deuxième s'intéresse aux absorbants sélectifs parfaits conçus à partir des effets de gap plasmons.

✓ *Production*

- 2 BREVETS : G. Malpuech et al., WO et US patent (2010) - D.R. Smith, A. Moreau et al., US patent (2013).

✓ *Actions de diffusion scientifique vers le grand public*

Articles

- G. Malpuech et D. Solnyshkov, *Les Lasers à polaritons*, Pour la Science, mars 2011, pages 70-76.

- O. Vanbésien and E. Centeno, *Dispersion Engineering for Integrated Nanophotonics*, WILEY-ISTE, ISBN-10: 1848215649.

Séminaires/Portes ouvertes

- Conférence Nationale organisée par l'Observatoire des Micro- et Nano-Technologies : Plasmonique et Métamatériaux.

- Fêtes de la Science, Portes Ouvertes, Forum...

Analyse SWOT

Forces

Très bonne reconnaissance au niveau académique sur le plan national et international.

Très bon niveau de publications.

Homogénéité des activités et bonne cohésion au sein du thème.

Collaboration continue avec des équipes de croissance reconnues (CRHEA, LPN) depuis plus de dix ans.

Transversalité des projets au sein de l'Axe PHOTON.

Faiblesses

Trop faible interaction avec le tissu économique local.

Faible flux d'étudiants en Master de Sciences de la Matière.

Opportunités

Intégration dans la grande Région Rhône-Alpes-Auvergne, ce qui permettra de valoriser dans un cadre régional (programme C'NANO, etc...) les nombreuses collaborations existantes avec nos partenaires grenoblois, lyonnais, et stéphanois.

Possibilité d'ouverture vers d'autres domaines (Biologie, Sciences de la Terre, Chimie).

Risques

Faible reconnaissance de la Photonique au niveau de la recherche en Auvergne (Comité d'Animation et de Suivi de la Politique Scientifique de Site).

Taux d'acceptation des projets ANR/européens en forte baisse.

Réduction des crédits récurrents accordés par les tutelles (Université, CNRS).

1.2.4.2. Thème MINAMAT

Personnels

6 PR, 3 MCF-HDR, 1 MCF, 2 IR et 1 AI

Yamina ANDRE (MCF28-HDR (2013), UBP), Luc BIDEUX (PR28, UBP), Jerome BRUNET (MCF63, UBP), Dominique CASTELLUCI (IR, UBP), Evelyne GIL (PR28, UBP), Bernard GRUZZA (PR28, UBP), Philip HOGGAN (PR28, UBP), Guillaume MONIER (AI, UBP), Amadou NDIAYE (IR, CNRS), Alain PAULY (PR63, UBP), **Christine ROBERT-GOUMET** (MCF28-HDR, UBP), Agnès TRASSOUDAIN (PR28, UdA), Christelle VARENNE (MCF63-HDR, UBP)

Associés

Robert CADORET (PR émérite, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (7) : Laurent SPINELLE (CPER Région Auvergne, Oct. 2008 - Mars 2012), Geoffrey AVIT (MESR, Oct. 2011 - Dec. 2014), Mohamed Reda RAMDANI (MESR, Oct. 2005 - fév. 2010), Ouassila CHELDA-GOURMALA (Bourse Européenne Marie Curie Action, Avril 2006 - Juin 2010), Kaddour LEKHAL (MESR, Oct. 2009 - Fév. 2013), Samir CHELDA (MESR, Oct. 2006 - Nov. 2010), Guillaume MONIER (Personnel AI UBP, Oct. 2011)

Thèses en cours (4) : Abhishek KUMAR (MESR, Oct. 2012), Elissa ROCHE (Bourse Labex GaNeX, Oct 2013, 50% MINAMAT-50% N2), Zhenning DONG (MESR, Oct 2013 - encadrement commun Axe GePEB), Mohamed Aymen MAJHOUB (MESR, Oct 2012)

HDR présentée

Yamina ANDRE (2013)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Amadou NDIAYE (PD, ANR CAPBTX, Mai 2012 - Avr. 2013 ; Labex IMobS3, Mai 2013 - Oct. 2014), Mohamed Reda RAMDANI (PD, CPER Région Auvergne, Sept. 2013-Fev. 2015), Ali BAGCI (PD, CPER Région Auvergne et LabEx IMobS3, Sept. 2013 - Fev. 2015), Katharina DOBLHOFF DIER (PD, Contrat PRACE, Oct. 2014 - Oct. 2015), Sébastien DELILE (PD, LabEx IMobS3, Sept. 2013 - Fev. 2015)

Collaborateurs administratifs

Françoise BOHAUD (UBP)

Identité scientifique

Le thème **MINAMAT** (Micro-systèmes et NAno-MATériaux) a pour champ d'investigation, l'élaboration, la caractérisation et l'optimisation de micro- et nanostructures fonctionnelles de diverses natures (inorganiques tels que les composés III-V et leurs nitrures, mais aussi organiques ou hybrides). Ce thème s'appuie sur des expertises, des procédés et des stratégies originales. Les travaux sont focalisés sur : i) la synthèse de nanofils et de nanostructures par croissance cristalline en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) ; ii) la passivation et la nano-structuration de surfaces sous ultravide couplées à des modélisations par dynamique quantique moléculaire ; iii) la synthèse et/ou la mise en forme de nanomatériaux sensibles pour la conception de micro-capteurs chimiques permettant une quantification précise et sélective de gaz à très faibles concentrations (sub-ppm). Ces trois actions se complètent mutuellement afin d'étudier les phénomènes de croissance, de diffusion surfacique et la sensibilité vis-à-vis d'espèces gazeuses.

Le thème MINAMAT possède des équipements expérimentaux gérés par 2 IR (UBP et CNRS) et 1 AI (UBP) représentant un effectif stable depuis la dernière évaluation. Ces équipements de niche conçus et réalisés au laboratoire, associés à des équipements plus conventionnels, confèrent une grande originalité et une complémentarité vis-à-vis des équipements présents dans d'autres laboratoires du territoire :

- **2 réacteurs HVPE home-made** (Projet LabeX GaNeX, Projet région CPER Innov@Pôle, ANR FIDEL) que nous avons installés entre 2004 et 2006 : un bâti HVPE dédié aux III-V classiques (Ga,In)-(As,P):(Si,Zn) pouvant accueillir des échantillons de dimension 3 pouces et un bâti dédié au nitrure de gallium et d'indium pour des échantillons de dimension 2 pouces. Le contrôle de la distribution des gaz et les conditions thermodynamiques de réalisation des dépôts président à la conception d'un réacteur d'épitaxie. A l'échelle nationale, l'Institut Pascal est le seul laboratoire universitaire qui possède deux réacteurs HVPE dédiés à la croissance de tous les semiconducteurs III-V.
- **2 bâti ultravides home-made** équipés de diverses méthodes d'analyses par spectroscopie électronique : XPS, AES, UPS, imagerie Auger, accompagné de méthodes d'analyse plus

spécifiques : EPES et imagerie élastique, ainsi que de plusieurs cellules d'évaporation (Ni, Au, Al₂O₃, etc...) et de deux cellules plasma (GDS et ECR) (Projet région CPER Innov@Pôle).

- 3 bancs de mesures automatisés sous gaz en faibles concentrations (O₃, NO₂, NH₃, H₂S, CO, BTX, COVs) ; 1 centrale de caractérisations électriques (I-V, C-V en fonction de la fréquence et de la température, effet Hall, DLTS).
- 3 bâtis d'évaporation thermique sous vide (métaux, semiconducteurs organiques) ; 1 banc de mesure par voie électrochimique (Projet LabEx IMobS3).
- 1 micro-soudeuse semiautomatique pour la réalisation de micro-contacts électriques par fil d'or ou d'aluminium.

Contexte

Le domaine des nanosciences est un domaine pluridisciplinaire où notamment chimistes et physiciens doivent travailler ensemble pour concevoir, analyser et exploiter de nouvelles structures dont au moins une des dimensions se situe à l'échelle nanométrique. Le thème MINAMAT de par ses différentes expertises s'est positionné sur la scène nationale et internationale en mettant en avant des résultats significatifs permettant d'apporter à cette communauté des briques afin de développer de nouvelles voies de recherche. Ces résultats ont permis l'intégration des trois actions dans différents projets dans le cadre de collaborations identifiées régionalement, nationalement mais aussi internationalement.

Régionalement

MINAMAT travaille depuis plusieurs années en étroite collaboration avec l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand sur des projets pluridisciplinaires, citons notamment i) le dopage de nanofils aux terres rares pour la réalisation de dispositifs dans le domaine de l'éclairage, ii) la caractérisation physico-chimique de couches minces déposées par pulvérisation réactive pour la réalisation de couches anti-reflets pour cellules photovoltaïques (projets soutenus par l'Action MP2C du CPER Innov@Pôle), iii) l'élaboration et la caractérisation de matrices nanocarbonees fonctionnelles pour des applications de filtration chimique sélective. Ces collaborations se sont traduites par plusieurs publications communes, un co-encadrement doctoral et un post-doctoral, deux projets ANR et un brevet international.

Il est à noter que certains équipements expérimentaux de MINAMAT font partie de UBP-START (Solutions en Techniques d'Analyse et Ressources Technologiques), structure de l'Université Blaise Pascal composée de plusieurs services communs d'analyses physico-chimiques ou biologiques. Cette plateforme technologique propose un soutien scientifique et logistique aux différents acteurs de la recherche et du développement de la région.

Nationalement

L'action "Croissance cristalline" s'intègre dans des réseaux nationaux et a participé en tant que partenaire à une ANR pilotée par le CEA-LETI de Grenoble (ANR FIDEL). L'action "Systèmes & Microsystèmes Capteurs Chimiques" a coordonné deux projets ANR blancs (CAPBTX et POLL CAP). Ces deux projets ont inclus des partenaires d'autres universités françaises (Université de Franche Comté, UPMC, Université de Bourgogne). L'action "Surfaces et Interfaces" a participé à deux runs au synchrotron SOLEIL (n° 20100151 et n° 20130721 dont un en tant que coordinateur) en partenariat avec l'École Polytechnique de Palaiseau et l'Institut IOFFE de Saint Petersburg. Les modélisations très chronophages en temps de calculs font régulièrement l'objet de projets DARI permettant d'augmenter la puissance de calcul (n° 100055 et n° 100515).

Internationalement

L'expertise en croissance de nanofils, en spectroscopies électroniques quantitatives ainsi que les techniques de nitruration de surfaces, ont permis aux actions "Croissance cristalline" et "Surfaces et Interfaces" de s'intégrer dans un projet européen de mobilité Marie Curie (FUNPROB). Les techniques de simulation reconnues internationalement font l'objet de plusieurs échanges et programmes. Notamment, en collaboration avec M.D. Towler (Cambridge, UK) et N.D. Drummond (Lancaster, UK), l'action "Surfaces et Interfaces" développe différents outils utilisés dans le cadre du développement du logiciel CASINO. L'expertise en Monte-Carlo Quantique (QMC) lui a permis de s'engager comme consultant dans un programme européen ERC Advanced Grant (n°338580) piloté par G.J. Kroes (Pays-Bas). L'action "Systèmes & Microsystèmes Capteurs Chimiques" de MINAMAT est reconnue internationalement pour sa stratégie scientifique originale et ses travaux interdisciplinaires innovants sur la métrologie de détection d'espèces chimiques de natures diverses (COVs composés organiques volatiles, composés à caractère oxydant [NO₂, Cl₂, O₃,...] ou réducteur [NH₃, H₂S,...]). Deux membres de cette action font partie du comité de management de l'action transdisciplinaire et Européenne COST TD 1105 (EuNetAir) depuis mai 2012.

Réalisations

- **Action HVPE process : synthèse de nanofils semiconducteurs**

Le procédé de croissance par HVPE est un procédé très modulable qui permet d'envisager différents modes de croissance : croissance sélective (SAG, selective area growth), pour laquelle la croissance a lieu de manière sélective dans les ouvertures micro- ou nanométriques d'un masque diélectrique déposé sur le substrat ; la croissance VLS (vapeur liquide solide) assistée de catalyseurs métalliques et la croissance directe sur un substrat nu. Pour la SAG-HVPE, des cartographies des conditions expérimentales de GaN, uniques dans l'état de l'art de l'épitaxie HVPE, ont été établies dans le cadre d'une thèse soutenue en juin 2010 (O. Gourmala-Chelda). Ce travail a permis d'optimiser la croissance sélective de réseaux de fils GaN sur des substrats silicium avec et sans couche tampon d'AlN, masqués par un diélectrique dans le cadre de l'ANR FIDEL. Ces objets possèdent des propriétés optiques et morphologiques uniques. Une reprise de croissance de ces objets par épitaxie en phase vapeur aux organométalliques (MOVPE) de multi-puits quantiques InGaN/GaN a été démontrée pour la première fois en coopération avec le CEA LETI et aboutissent à des structures cœur/coquille ayant des propriétés optiques prometteuses pour la réalisation de LEDs (Thèse G. Avit, *Nano Letters* 2014).

Dans le contexte actuel très concurrentiel de l'éclairage, la croissance d'InGaN à différentes compositions d'indium a été développée. Le Laboratoire d'Excellence GaNeX soutient cette activité via les financements d'un projet exploratoire et d'une bourse de thèse. L'étude théorique et expérimentale de la croissance d'InGaN par HVPE a été effectuée démontrant la nécessité d'utiliser un précurseur trichloré pour l'indium. L'objectif visé est la synthèse de nanofils d'InGaN avec des compositions en indium variant de 0 à 100 % afin d'obtenir toute la gamme de longueurs d'onde du visible pour la réalisation de dispositifs LEDs (projet ANR ChromaGaN déposé en 2015).

La faisabilité de la croissance de nanofils GaN sans catalyseur a été démontrée directement sur substrat Si (111) sans recours à des catalyseurs métalliques ou à une couche tampon ou à une préparation particulière de la surface du substrat. Seul le procédé HVPE permet cette croissance directe avec les vitesses de croissance les plus élevées (Thèse K. Lekhal, *Crystal Growth and Design* 2012).

Afin de structurer des objets de dimensions nanométriques à haut rapport de forme, le procédé de croissance HVPE assisté de catalyseurs métalliques a été mis en œuvre. Pour ce projet, une collaboration interne au thème MINAMAT a conduit à l'optimisation des dépôts métalliques par évaporation thermique sous vide ou UHV. La VLS en environnement HVPE montre qu'une cinétique élevée due à un apport de matière important qui s'effectue préférentiellement de manière axiale au travers de la goutte catalytique, permet la synthèse de nanofils de structure cristallographique exempte de défauts et de géométrie constante sur toute la longueur. Des nanofils ultra-longues ont été obtenus grâce aux fortes vitesses de croissance typiques du procédé HVPE (de 50 $\mu\text{m}/\text{h}$ à 130 $\mu\text{m}/\text{h}$) en quelques minutes de procédé. Les nanofils synthétisés sont de structure wurtzite, cylindriques et exempts de fautes d'empilement (Thèse K. Lekhal, Thèse G. Avit, *Nanotechnology* 2012, *Nano Letters* 2014). La croissance de nanofils GaN/AlN cœur/coquille sur substrat saphir plan c en une seule étape, sans apport intentionnel de précurseurs d'aluminium, a été démontrée. Une collaboration avec le Professeur Vladimir Dubrovskii de l'Institut IOFFE de St Petersburg a permis d'établir les mécanismes de croissance à l'origine de ces structures uniques. Toutes les structures à base de matériaux nitrures réalisées par HVPE sont étudiées et caractérisées, en interne via une étroite collaboration, par les opticiens du thème N2.

La synthèse de nanofils de GaAs de diamètre supérieur à 40 nm présentant une structure zinc-blende cubique sans défauts et sans fautes d'empilement sur des longueurs de plusieurs dizaines de micromètres, a été démontrée pour la première fois dans l'état de l'art, par VLS-HVPE catalysée Au (Thèse M.R. Ramdani, *Nano Letters* 2010). Les grandes vitesses de croissance des nanofils de structure Zinc-Blende stable, quel que soit le diamètre, suggèrent un contrôle cinétique. Le mécanisme de diffusion des atomes de gallium dans la goutte de catalyseur a été modélisé par la méthode de Dynamique Moléculaire (DFT) (*J. Chem. Phys.* 2014). Ces propriétés remarquables ont été maintenues pour les nanofils de diamètre inférieur à 40 nm et allant jusqu'à 10 nm. La stabilité de la phase Zinc-Blende des nanofils GaAs a été justifiée grâce à un modèle thermodynamique et cinétique de nucléation avec V. Dubrovskii (Thèse G. Avit, *Nano Letters* 2014). Ces objets constituent des structures idéales pour, d'une part, étudier les phénomènes de diffusion de spin (ANR PauliStrass déposée en 2015). D'autre part, un prototype de dispositif biopile est développé en utilisant la complémentarité des compétences des épitaxieurs, des électroniciens et des biologistes de l'IP (Thèse Z. Dong, *Projet Transversal IP, Axes PHOTON et GePEB*). La croissance VLS-HVPE de nanofils GaAs auto-catalysée gallium est actuellement testée.

- **Conception et études de surfaces nanostructurées par spectroscopies électroniques**

L'action "Surfaces et interfaces" développe des recherches sur l'étude et la réalisation de surfaces nanostructurées de semiconducteurs. Pour cela, un suivi *in situ* par XPS associé à des modélisations d'intensités

photoélectroniques permet de proposer des interprétations quantitatives poussées. Dans le cas d'hétérostructures GaN/GaAs, la qualité des couches épitaxiées est fortement dépendante des conditions choisies pour la nucléation des premières couches de GaN sur substrat de GaAs. D'autre part, la nitruration apparaît comme l'un des procédés les plus prometteurs pour la passivation thermique, chimique et électronique des surfaces de GaAs. Pour cela, l'utilisation d'un plasma d'azote, créé par une source à décharge GDS de faible puissance (5 à 10 W), a permis la création d'une couche surfacique de nitrure de gallium (GaN) de très bonne qualité. Ces couches ont également été étudiées en temps réel par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier lors de deux runs au synchrotron SOLEIL (n° 20130721 et n° 20100151) en collaboration avec le laboratoire de Physique de la Matière Condensée de l'École Polytechnique de Palaiseau et l'Institut IOFFE (*Journal of the Electrochemical Society* 2013). Ces études ont permis de comparer cette méthode de passivation à d'autres techniques de nitruration par voie chimique. La maîtrise de la conception de films 2D ultra-minces de GaN/GaAs et le contrôle de l'interface entre les deux matériaux nous ont permis de nous orienter vers d'autres types de surfaces plus complexes telles que des nanofils ou des surfaces nanoporeuses. En effet, les résultats de la nitruration obtenus pour diverses orientations cristallographiques des surfaces planes de GaAs est un point de départ pour la passivation à l'azote de nanofils de GaAs, cette étude est en cours et est soutenue par un programme d'échanges européen (*Contrat Marie Curie Action-ERSES FUNPROB*).

Parallèlement nous développons depuis plusieurs années, une spectroscopie électronique dite EPES (Elastic Peak Electron Spectroscopy) basée sur l'interaction élastique des électrons avec la matière. Cette spectroscopie s'est avérée être une méthode de caractérisation très sensible à la surface et non destructive, ce qui lui confère un fort potentiel pour une voie plus applicative. C'est dans ce contexte que nous avons développé un nouvel algorithme permettant de connaître avec précision le parcours des électrons dans la matière et donc de connaître la profondeur atteinte : point clé pour le développement de cette technique d'analyse. Nous avons démontré qu'il est possible de sonder en profondeur la surface étudiée de manière non destructive en modulant l'énergie des électrons primaires. Ce travail est à la base du développement d'une nouvelle imagerie électronique. Cette imagerie 3D permettra de localiser de manière précise et fine les différentes nano- et microstructures présentes à la surface. La capacité d'avoir une imagerie simultanée de la surface de l'échantillon et de la composition en profondeur des couches surfaciques peut avoir des applications importantes dans de nombreux domaines de recherche liés à la physique des matériaux.

Ces travaux nous ont permis de développer une nouvelle méthode de détermination des paramètres d'un analyseur d'électrons hémisphérique, instrument actuel le plus utilisé pour des mesures EPES et XPS. En effet, la communauté des spectroscopistes se heurte à une difficulté qui est l'interprétation quantitative des résultats expérimentaux qui est fortement dépendante des conditions d'analyse. Ainsi à partir d'images élastiques obtenues à l'aide d'un canon à électrons à balayage et d'un analyseur HSA, la fonction de correction de l'analyseur a pu être optimisée mais surtout cette méthode a permis l'estimation de la zone d'analyse $A(E_x)$ pour la première fois (*Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 2014).

- **Etudes théoriques DFT de surfaces métalliques**

L'étude théorique de la structure électronique des surfaces de métaux et de semi-conducteurs est généralement effectuée à l'aide des méthodes orientées densité (DFT), qui évaluent la densité électronique. Cette approche est rapide en temps de calcul. Pour les systèmes tels que le cuivre et ses oxydes ainsi que les semi-conducteurs III-V, le nombre d'électrons à traiter au moyen des équations Kohn-Sham est réduit, avec un pseudo-potential. A noter que dans les études catalytiques (études réalisées pour des surfaces d'oxyde de cuivre), où la corrélation électronique varie beaucoup avec les interactions molécule-surface, la DFT n'est pas assez précise et il convient d'utiliser une nouvelle approche : le Monte Carlo Quantique (QCM). Pour l'apport de cette méthode, P. E. Hoggan est le consultant d'un projet ERC Advanced Grant n°338580 "Reaction Barriometry" (2014-2019) dirigé par G.J. Kroes à l'Université de Leiden (Pays Bas) (*Int. J Quantum Chem.* 2014).

Cette expertise théorique s'est avérée très utile pour décrire les phénomènes d'incorporation et de diffusion du gallium à l'intérieur d'une gouttelette d'or servant de précurseur pour la croissance de nanofils de GaAs Zinc Blende sans défauts par la méthode HVPE. Une goutte modèle ayant 20% de Ga dans l'or est utilisée. L'opération catalytique a lieu avec des gouttes composées en majorité de Ga. Toutefois, le calcul dynamique met en évidence un déplacement en chaîne d'un atome de Ga relayé vers l'interstice tétraédrique suivant et forçant l'atome de Ga qui s'y trouve à descendre jusqu'à son incorporation dans le nanofils. Ce mécanisme 'en cascade' a été proposé par K. Lekhal et P.E. Hoggan (*JCP* 2013).

De plus une étude par DFT a été entreprise de manière à aider l'interprétation des différents spectres expérimentaux obtenus au cours du run SOLEIL n° 20130721 (voir partie sur la nitruration de GaAs).

- **Systèmes & Microsystèmes Capteurs Chimiques**

Les travaux de l'action "Systèmes & Microsystèmes Capteurs Chimiques" concernent la synthèse de systèmes capteurs dont les paramètres métrologiques permettent d'assurer la métrologie sélective

d'espèces gazeuses. L'objectif consiste à produire des structures sensibles totalement innovantes et originales pour la métrologie de composés chimiques à visée sanitaire (polluants atmosphériques : NO₂, O₃, polluants des habitats : Benzène, Toluène, Xylènes) ou pour la régulation de processus (NH₃, H₂S,...). Dans ce contexte, le travail réalisé a particulièrement porté sur la mise en œuvre de systèmes capteurs conduisant à la sélectivité tout en préservant une stabilité et un temps de mesure conforme au cahier des charges associé aux contextes de détection. Pour parvenir à ces objectifs, des recherches ont été engagées dans :

- la synthèse de matériaux sensibles à base de matériaux organiques dont les performances sont particulièrement intéressantes pour notre application.
- une stratégie innovante et originale impliquant la mise en œuvre de filtres chimiques installés en amont des capteurs.

Cette stratégie totalement originale est à la base du projet CAPBTX retenu par l'ANR, et s'appuie sur le développement de structures sensibles aux espèces gazeuses aromatiques par la mise en œuvre de matériaux moléculaires porphyrines et phtalocyanines judicieusement choisis en regard de la nature des composés aromatiques cibles (*thèse A. Kumar 2015*). Nous avons totalement interprété les mécanismes d'interaction gaz/macrocycles au moyen d'analyses physico-chimiques. Les transductions retenues au sein du système capteur permettent de traduire la masse de molécules aromatiques en interaction avec les macrocycles (transductions acoustiques QCM et SAW) ainsi que les modifications de la conductivité électrique engendrées (transduction conductimétrique). Ces travaux sont particulièrement originaux et ont fait l'objet de 2 missions scientifiques d'échange en collaboration avec le centre de recherche de l'ENEA de Brindisi, en adéquation avec les objectifs scientifiques de l'Action COST TD1105 – EuNetAir dans laquelle l'action est impliquée. Ces travaux ont été valorisés par 5 publications dans des revues internationales à comité de lecture (*Sensors and Actuators B: Chemical, 2015*), 8 communications orales dont 3 en qualité de conférencier invité et 3 communications posters dans des congrès internationaux.

Les travaux visant à la sélectivité des systèmes capteurs nous ont engagés dans une stratégie innovante et originale impliquant la mise en œuvre de filtres chimiques installés en amont des capteurs (*thèse L. Spinelle 2012*). Afin de parvenir à détecter sélectivement NO₂, nous nous sommes tout particulièrement investis dans la recherche et l'optimisation de structures filtrantes destinées à éliminer l'ozone tout en préservant intégralement le gaz dioxyde d'azote. L'association de ce type de filtre avec des capteurs à base de semi-conducteur organique tel que les phtalocyanines métalliques vise à conduire à la réalisation d'un capteur totalement sélectif au NO₂. Les résultats obtenus constituent la base d'un brevet déposé par le CNRS et l'Université BLAISE PASCAL ("Utilisation de nanomatériaux de carbone en tant que matériaux de filtration imperméable à l'ozone" Brevet International délivré en France (n°08 03006), en Europe (n°2291230) et aux USA (n°8507228)). Ces travaux sont particulièrement développés au sein des publications (*J. Brunet, Talanta, 2014 ; M. Dubois, Journal of Colloid and Interface Science, 2013*). Ces recherches sont actuellement associées au projet de maturation soutenu par la SATT Grand Centre.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#60	Ultralong defect-free single crystal phase GaAs and GaN nanowires
#61	HVPE growth of (In,Ga)N structures with controlled morphologies
#62	Elaboration of nitrided III-V thin films, under ultra high vacuum conditions. Nanostructured surfaces and their passivation
#63	Multi-mode elastic peak electron spectroscopy (MM-EPES): experimental measurements combined with Monte Carlo simulations
#64	Organic/mineral hybrid nanomaterials for gas sensing applications
#65	Highly selective NO ₂ sensor system for air quality control: towards a technology transfer

Projets collaboratifs académiques

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR	FIDEL	P	2012-2015	NanoFils d'InGaN pour la réalisation de Diodes Electroluminescentes.
	ANR	CAPBTX	C	2010-2013	A Sensing composite structure-based Microsystem devoted to the selective measurement of benzene, toluene and xylenes.
	ANR	POLL CAP	C	2006-2010	Development of semiconductor gas sensor microsystems for the monitoring of atmospheric gaseous pollutants.

	Synchrotron SOLEIL	SMIS beamline	P	Dec. 2010	Etude de la nitruration de surfaces de GaAs en temps réel par mesures FTIR. Comparaison de différentes méthodes de nitruration.
	Synchrotron SOLEIL	SMIS beamline	C	Juin 2014	Etude de la nitruration de surfaces de GaAs en temps réel par mesures FTIR.
	DARI	n°100055	C	2014	Simulations Monte Carlo quantique de structures GaN/GaAs. Dynamique (AIMD) de diffusion d'atomes d'azote dans la matrice (Accès préliminaire 50 000 h).
	DARI	n° 100515	C	2015	Etude des fréquences de vibrations des liaisons GaN et GaAs et étude de la diffusion de l'azote dans le GaAs. (Modèles AIMD et DFT) : ADA 250 000 h.
	PEPS	ASTHMAA	C	2015	Analyse Sélective des Teneurs en Hydrocarbures Mono-Aromatiques de l'air.
	PEPS	GaN Act	P	2014	GaN Nanowires as Active Waveguides.
	LabEx IMobS3	Defi 3		2013-2015	Capteurs chimiques pour les bioprocédés.
	LabEx GaNeX	Axe 7	P	2012-2019	Croissance d'InGaN par HVPE.
Internationaux	ERC	REACTIONBARRIOMETRY	P	2013-2017	Reaction barriometry: Towards a chemically accurate description of reactions on metal surfaces.
	FP7-PEOPLE Marie Curie Actions	FUNPROB	P	2011-2015	Functional Semiconductor Nanowire Probe.
	COST	Action TD1105 - EuNetAir	P	2012-2016	European Network on New Sensing Technologies for Air Pollution Control and Environmental Sustainability.
	PRACE		P	2013-2014	Towards a chemically accurate description of reactions on metal surfaces.

Production scientifique

Un véritable effort de qualité a été réalisé sur la période 2010-2015 en matière de diffusion des réalisations. Les publications du thème MINAMAT sont en augmentation et pour la première fois, des articles dans des revues à fort facteur d'impact en tant que porteur principal (premier/dernier auteur), un chapitre de review invité et des directions d'ouvrage ont été produits. Dans le même temps, MINAMAT a enregistré une forte croissance des invitations dans des congrès internationaux. Ces éléments, et tout particulièrement le dernier, ont permis de contribuer à l'accroissement de la notoriété et de la visibilité nationale et internationale du thème.

Publications, communications orales, ouvrages et logiciels sur la période 2010-2015	Nombre
ACL	
Nano Letters (3)	
Carbon (1)	
J. Phys. Chem. C (1)	
Crystal Growth and Design (1)	
Sensors and Actuators B: Chemical (6)	
Organic Electronics (1)	
Nanotechnology (1)	
Phys Rev B (2)	
Journal of Colloid and Interface Science (1)	
Talanta (1)	
The Journal of Chemical Physics (2)	
Journal of the Electrochemical Society (1)	
J. Pure and Applied Math (1)	
Materials Science and Engineering (1?)	
Phys Rev E (2)	
Journal of Applied Physics (1?)	
Journal of Fluorine Chemistry (1)	
Surface Science (3)	
Thin Solid Films (3)	
Journal of Crystal Growth (4)	
Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena (1)	
Solid-State Electronics (1)	
Journal of Nanoscience and Nanotechnology (1)	
Journal of optoelectronics and advanced materials (2)	
Physics and Chemistry of Liquids (1)	
	45

<p>OS</p> <p>- E. Gil et al., Handbook of Crystal Growth Vol. III, Elsevier, chapitre 2 (51-93) (2015). Chapitre invité.</p> <p>- P. Hoggan, Presses Universitaires Européennes, Méthodes modernes de chimie quantique pour étudiants de Master et Chercheurs, DFT pour molécules et solides (2010).</p> <p>- P. Hoggan, Chapitre 1: in Slater-type orbital sets - Reliable and rapid solution of the Schrodinger equation for accurate molecular properties. Imperial University Press, London (2010).</p>	3
<p>ACTI</p> <p>ECASIA - Inter. Conf. on the Formation of Semicon. Interfaces - Inter. Workshop of Molecular Electronic Structure Theory - Inter. Conf. on Materials and Applications for Sensors and Transducers - Eurosensors...</p>	19
<p>INV</p> <p>Nanowire Growth Workshop (Espagne, E. Gil, 2015) - International Conference on Nanotek (USA, Y. André, 2014) - Congress of the International Society of Theoretical Chemical Physics (Hongrie, P. Hoggan, 2013) - International Workshop on Semiconductor Gas Sensor (Pologne, J. Brunet, 2010 & 2012 ; A. Ndiaye, 2012) - International Nano-Optoelectronics Workshop (Russie, E. Gil, 2014) - SPIE Micro+Nano Materials (Australie, E. Gil, 2013) - International Workshop on New Sensing Technologies and Transducers for Air-Quality Monitoring (Espagne, J. Brunet, 2013) - International Workshop EuNetAir (Italie, J. Brunet, 2014) - Molecular Electronic Structure Workshop (Turquie, A. Bagci, 2014) - E-MRS Spring Meeting (France, J. Brunet, 2014) - GDR Nanofils semiconducteurs (France, E. Gil, 2014), GDR Pulse (France, Y. André, 2013) - GDR Nanofils semiconducteurs (France, A. Trassoudaine, 2012)</p>	19
<p>COM</p> <p>E-MRS Spring (3) - Eurosensors (2) - International Conference on Nitride Semiconductors (2) - ECASIA European Conference on Applications on Surface and Interface Analysis (2) - 6th Nanowire Growth Workshop (3) - 3rd International Conference on Materials and Applications for Sensors and Transducers (2) - 4th International Conference on Sensing Technology (1) - 13th International Conference on the Formation of Semiconductor Interface (1) - 3^{ème} Conférence Francophone sur les Spectroscopies d'électrons (1)</p>	18
<p>Rapports scientifiques</p> <p>- 2 rapports scientifiques : bilans run synchrotron SOLEIL</p> <p>- 2 rapports scientifiques : Short Term Scientific Mission supported by EuNetAir COST Action TD1105</p> <p>(References: COST-STSM-TD1105-230913-035210 & COST-STSM-TD1105-230913-035563)</p> <p>- PRACE Technical Reports, WP74 PA1186: CASINO for large solid catalyst systems: Configuration numbers and population control</p>	
<p>Logiciel</p> <p>Développeurs logiciel CASINO : P.E. Hoggan, K. Doblhoff-Dier en collaboration avec M.D. Towler (Cambridge, UK) et N.D. Drummond (Lancaster, UK)</p>	1

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

Les membres de MINAMAT ont été invités 19 fois en conférences internationales (voir tableau précédent ; liste exhaustive en Annexe 6.4 - compléments page 311).

Invitations sur la période 2010-2015	
<p>Entrants</p> <p>Professeurs invités (UBP, contrat FUNPROB, FNRS Belgique...)</p> <p>- V. Dubrovskii (St Petersburg) : 4 séjours (2013, 2014, 2015) - 2 dépôts ANR, 2 Nano Letters</p> <p>- N. Pauly (Bruxelles) (1 mois, 2014) : 1 COM, 1 Surf. Inter. Anal.</p> <p>- G.J. Kroes (Leiden) (1 mois, 2012) : 1 ERC, 1 PRACE</p> <p>- D. Paget (Polytechnique Palaiseau) : 2 runs SOLEIL, 4 ACL, 2 COM, 4 dépôts ANR</p> <p>- S. Jungthawan (Thaïlande) (3 mois, 2014) : 1 projet PHC</p> <p>- M. Petit (CINaM, Marseille) (1 mois, 2011) : 1 ACL, 1 COM</p> <p>- 7 séjours chercheurs seniors algériens (2014, 2015) : M. Amrani, M. Chellali, S. Boudissa, A. Boudali, A. Benamara,</p>	<p>Sortants</p> <p>- Université Polytechnique de Madrid, Laboratoire du Professeur Enrique Calleja, Mai 2015</p> <p>- Université de Nagoya, Laboratoire du Professeur H. Amano (Prix Nobel de Physique 2014), Mai 2015</p> <p>- KTH Stockholm, Laboratoire du Professeur Sébastien Lourdudos, Avril 2011</p> <p>- Centre de recherche de Brindisi de l'ENEA (ENEA - Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development), Septembre 2013 : 2 missions soutenues et financées par l'action COST Transdisciplinaire TD1105 - EuNetAir</p> <p>- Université de Leiden, Leiden Institute of Chemistry, Février 2014, Janvier 2015</p>

M. Benamara, Z. Benamara - 2 ACL, nombreuses COM - D. Pinchon (MIP, Toulouse) (1 mois, 2011) : 1 ACL - M/L/ Rodriguez-Mendez (Valladolid) (1 mois, 2013) : 1 ACL et 1 ACL under Review	- Florida State: PH Professeur Invité permanent (collaboration avec Charles Weatherford)
--	--

✓ *Collaborations*

Collaborations se traduisant par des publications communes 2010-2015 : 33	
National Institut Néel Grenoble LPN Marcoussis CRHEA Valbone Université de Franche Comté CiNaM Marseille PMC école Polytechnique Palaiseau Univ. Pierre et Marie Curie Paris Univ. Toulouse LAAS Toulouse CEA-LETI Grenoble INAC Grenoble IM2NP Université Toulon Univ. de Bourgogne INSP Paris Univ. de Haute Alsace Univ. des Antilles et de la Guyane	International Univ. Libre Bruxelles (Belgique) Univ. de Durham (Royaume Uni) St Petersburg State University (Russie) IOFFE (Russie) AMEL, Univ. Sidi Bel Abbes (Algérie) Univ. Monastir (Tunisie) Cambridge et Lancaster (Royaume Uni) Univ Alberta (Canada) Technion (Israel) Univ. Polytechnique Madrid (Espagne) Univ. Nagoya (Japon) Institute of Energy Problems of Chemical Physics Moscou (Russie) Univ. Uppsala (Suède) ENEA Research Center of Brindisi (Italie) Univ. de Valladolid (Espagne) Enertis Solar (Espagne)

✓ *Prix et Distinctions*

- ANR FIDEL (Nanofils nitrures) - Projet phare de l'ANR en 2013
- CNRS INSIS 2010 : Fait marquant Nanofils GaAs
- Student Presentation Award (Runner up) - 4th International Conference on Sensing Technology, ICST 2010, 3-5 juin 2010, LECCE (Italie), L. Spinelle, Phthalocyanine based chemical gas sensors: a relevant approach to the selective metrology of oxidizing pollutants in troposphere.

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
- Referee de manuscrit de livre : Hyperspherical harmonics and applications in physics World Scientific, Singapore, Editor AQC vol 72 (on theme) spring 2015. - Membre du comité scientifique international des International Workshop on Semiconductor Gas Sensors (SGS), Poland. - Editeur pour la revue internationale à comité de lecture <i>Journal of Sensors</i> .	- Workshop Quantum Systems in chemistry and physics, Sept. 2010 à Cambridge (UK). - Chair : Workshop Molecular Electronic Structure Theory at Troy, Sept. 2012 à Canakkale (Turquie). - Chair International Scientific Committee: Workshop "Molecular Electronic Structure 14" 1-5 sept 2014, à Amasya (Turquie) : 75 participants, 20 countries (US, Aus, Canada, Europe, N Africa).	Referee Journal of Applied Physics Crystal Growth and Design J. of Crystal Growth JACS Thin Solid Films Surface Science Applied Surface Science

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

- Coordinateur du projet ANR Blanc CAP-BTX (déc. 2010 - nov. 2013).
- Membres titulaire et suppléant du comité de management de l'action transdisciplinaire et Européenne COST TD 1105 (EuNetAir - European Network on New Sensing Technologies for Air-Pollution Control and Environmental Sustainability (depuis mai 2012).
- Coordination de l'accord de collaboration avec ITMO University St Petersburg (2015-2018).

Activités nationales

- GDR CNRS Pulse : Responsable thématique "Croissance Sélective et Epitaxie Latérale" (2013-2016), (http://www.im2np.fr/GDR_CNRS_Pulse/index.html).
- GDR CNRS CORREL : Membre correspondant pour Clermont Université depuis 2010, (<http://gdrcorelec.ups-tlse.fr/index.php?title=Accueil>).
- JNMO : Membre du comité scientifique des Journées Nano, Micro et Optoélectronique.

- LabEX GaNeX : Responsable de la veille scientifique de l'Axe 7.3 (édition mensuelle d'un book d'articles sélectionnés).

Activités internationales

- Membre du comité d'expertise européenne PRACE Call 7 Prioritisation Panel: Chemical Physics and Materials expert. (Brussels 3- 4 juillet 2013).
- Referee et membre du comité d'évaluation SASPRO (Slovak Academy of Sciences, FP7-Marie Curie Actions-COFUND) (Janvier 2015 représentant français).
- Membre titulaire et suppléant du comité de management de l'action transdisciplinaire et Européenne COST TD 1105 (EuNetAir - European Network on New Sensing Technologies for Air Pollution Control and Environmental Sustainability) depuis mai 2012.

✓ *Expertises*

- Projet G2REC St MicroElectronics : Expert épitaxie.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Si elle donne la priorité aux activités de recherche débouchant sur des productions à caractère académique, le thème MINAMAT a maintenu une implication significative dans le domaine de la valorisation des connaissances auprès des collectivités publiques et du secteur privé :

- implication dans les projets Région CPER (Axe Innov@Pôle, 2007-2013)
- implication dans le LabEx IMobS3.

L'activité Systèmes & Microsystèmes Capteurs Chimiques de MINAMAT est également une activité à fort potentiel applicatif à court terme. Un brevet International a été déposé en collaboration avec l'Institut de Chimie de Clermont Ferrand sur le thème "Utilisation de nanomatériaux de carbone en tant que matériaux de filtration imperméable à l'ozone". Un capteur sélectif de NO₂, basé sur ce brevet est en cours de maturation avec le soutien de la SATT Grand Centre.

L'activité Croissance Cristalline et Surfaces et Interfaces de MINAMAT mène également des activités possédant un potentiel applicatif dans les domaines de la photonique intégrée pour le transfert et le traitement optique de l'information et de la nanoélectronique. Ces activités induisent des collaborations, projets, avec des laboratoires de recherches de multinationales de l'électronique et de la photonique, tels que Thalès Research and Technology à Palaiseau, ST MicroElectronics, Photonice ou Aledia.

✓ *Production*

Brevet International délivré en France (n°08 03006), en Europe (n°2291230) et aux USA (n°8507228) intitulé "Utilisation de nanomatériaux de carbone en tant que matériaux de filtration imperméable à l'ozone".

✓ *Actions de diffusion scientifique vers le grand public*

- Article de vulgarisation publié sur le site web de la région Auvergne (<http://www.auvergnesciences.com>).
- Exposition "La microscopie en Auvergne" au Musée Lecoq avec édition d'un ouvrage soutenu par la mission nationale de sauvegarde du patrimoine scientifique et technique contemporain portée par la ville de Clermont-Ferrand et son musée.
- Conférences organisées par le rectorat de Clermont-Ferrand lors des journées rectorales de formation des enseignants du secondaire sur les Nanotechnologies, Campus des Cézeaux, Aubière, 3 avril 2012 et 20 février 2013 (<http://videocampus.univ-bpclermont.fr/>).
- Journées Portes ouvertes.
- Fêtes de la Science.
- Article web de vulgarisation Huffington Post (Nanofils semiconducteurs, 2015).

Analyse SWOT

Forces

- Les thématiques scientifiques de MINAMAT sont originales. Elles combinent des compétences théoriques et expérimentales.
- Le bon positionnement et la qualité scientifique des recherches de MINAMAT se traduisent par une production scientifique abondante et dont la qualité est croissante. De nombreux articles ont été publiés dans des journaux à fort facteur d'impact.
- Bonne visibilité et reconnaissance des activités de recherche sur le plan national et international mais aussi dans la région Rhône Alpes. Nombre d'invitations internationales en croissance.

- Nombreuses coordinations ou implications de projets de recherche nationaux et internationaux.
- Collaborations locales avec les autres Axes de l'Institut Pascal et les autres laboratoires ou Instituts Clermontois (soutenues par la région Auvergne).
- Positionnement scientifique à la frontière entre Physique et Ingénierie : plusieurs plateformes technologiques sont rattachées à MINAMAT (Structure UBP-Start) pour une meilleure visibilité.

Faiblesses

- Les dix EC du thème MINAMAT sont impliqués dans les formations Licence et Master de l'UFR Sciences et Technologies, dans les formations de l'IUT Mesures Physiques et des écoles d'ingénieur du site, par le biais de responsabilités administratives chronophages : Présidence du Département de Physique (UFR ST), responsabilité de la Licence Science Pour l'Ingénieur (SPI), responsabilité de parcours de la Licence SPI, direction des études de première année de l'UFR ST, responsabilités de la troisième année du département Génie Physique et des relations internationales de Polytech/Clermont, responsabilité adjointe et directrice des études à l'IUT Mesures Physiques, et direction adjointe de l'Institut Pascal. Le fort investissement des EC de MINAMAT vers la collectivité universitaire traduit leur sens des responsabilités et de l'accomplissement plein et entier des missions d'un EC. Ce professionnalisme n'est pas joué au détriment de l'activité de recherche : les acteurs vont au delà des attendus *horaires*, mais il est légitime de s'interroger sur la distribution des temps accordés par les EC de MINAMAT sur les missions d'un enseignant-chercheur.
- Pas de chercheur (CR ou DR) à temps plein : ce fait est particulièrement pénalisant sur les activités expérimentales lourdes. Cette absence d'ETP à temps plein rejoint le point précédent. Il est impératif de mener toutes les actions nécessaires pour présenter régulièrement des candidats aux concours CNRS.
- Beaucoup de temps passé pour la rédaction de projets type ANR, européen... sans l'appui d'un CR à temps plein.
- Le thème MINAMAT s'appuie sur 2 ED (EDSF et EDSPi), cependant très peu de possibilités de bourses de thèse et de bourses post-doctorales. Les demandes de moyens sur les propositions ANR sont d'abord axés sur les consommables scientifiques (gaz, substrats et produits chimiques) ce qui limite les possibilités d'extension de budget vers une demande de ressources humaines.
- Problème de recrutement de doctorants dû à la baisse du nombre d'allocations MESR qui met en concurrence les laboratoires du site clermontois, mais aussi applique le principe de concurrence au sein de l'Axe PHOTON.
- Projets transversaux (insufflés ou initiés par la Direction) ont permis de nouer des contacts fructueux, mais un problème de manque de personnel subsiste.
- Coopération à renforcer avec les écoles d'ingénieurs du site.

Opportunités

- Rapprochement avec d'autres structures permettant de proposer des projets pluri-disciplinaires.
- Elargissement vers la grande Région Rhône-Alpes-Auvergne : pour trouver les structures de pérennisation et de financement des collaborations établies avec le site de Grenoble.

Risques

- Les crédits récurrents ne permettent plus de maintenir en fonctionnement les bâtis expérimentaux de MINAMAT : diminution des crédits récurrents mais augmentation des contrats de gaz, des vérifications de sécurité (hôtes, sources X, détecteurs de gaz etc...). Hors, ces minima de maintenance de process ne peuvent être soumis aux aléas du financement sur projet : un réacteur d'épitaxie doit en permanence être balayé par des gaz, un arrêt prolongé condamne le panneau de distribution des gaz et nécessite des opérations de dépollution des parties quartz et inox chronophages et coûteuses.
- Le financement des travaux de recherche est menacé par la diminution des subventions allouées pour et par les programmes de soutien à la recherche.
- Un équilibre des attributions budgétaires et humaines entre les Axes doit être assuré.
- Manque d'implication des activités de MINAMAT dans les programmes structurants de site comme l'I-SITE CAP2025.
- Le faible flux d'étudiants dans la filière de physique fondamentale ne permet pas d'avoir un vivier local pérenne de candidats pour une thèse.

1.2.4.3. Thème CEM

Personnels

3 PR, 4 MCF, 1 IE

Laure BERRY (MCF63, UBP), **Pierre BONNET** (PR63, UBP), Khalil El Khamlichi DRISSI (PR63, UBP), Claire FAURE (MCF63, UBP), Sébastien GIRARD (IE, UBP), Sébastien LALLECHERE (MCF63, UBP), Françoise PALADIAN (PR63, UBP), Christophe PASQUIER (MCF63, UBP)

Associés

Kamal KERROUM (PAST, UBP)

Doctorants

Thèses soutenues (10 dont 2 cotutelles) : Jaume BENOIT (Finacement propre Thème CEM, Nov. 2009 - Déc. 2012), Ibrahim El BABA (MESR, Oct. 2008 - Mars 2012), Lola El SAHMARANY (CEA LIST, Nov. 2010 - Déc. 2013), Basile JANNET (CEA DAM, Oct. 2010 - Jan. 2014), Mohamed CHAABAN (Bourse CNRS Liban, Oct 2007 - mai 2011), Farah FAYAD (Bourse Orange Lab, Oct. 2008 - avril 2012), Hamid KHAN (Bourse Institut Français du Pétrole et Energies Nouvelles (IFPEN), Nov. 2009 - Nov. 2012), Mahmoud KHODJET-KESBA (Bourse Brain City Research Institute, Nov 2010 - Nov. 2014), Alberto PAGNETTI (Co-tutelle UBP/University of Bologna, CIFRE EDF, Oct 2008 -Juin 2012), Laurent PATIER (ONERA DGA, Oct. 2007 - Nov. 2010)

Thèses en cours (3 dont 1 cotutelle) : Bruno JURISIC (CIFRE EDF, Nov. 2013), Abbas DEHGHANI KIADEHI (MESR, Oct. 2013), Achraf LIAKOUTI (Bourse Marocaine, Oct. 2012)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Sabrina MAQUAIRE (PD, Nov. 2011- Aou. 2013), Renata FILGUERAS (PD, Oct. 2011 - Oct. 2012), Thomas DURAND (PD, Jan. 2013 - Mai 2014), Alexandre GREMIAUX (PD, Fév. 2012 - Mai 2013), Vesna ARNAUTOVSKI-TOSHEVA (PD, Marie Curie Oct. 2010 - Sept. 2012), Khaled CHAHINE (PD, Oct. 2010 - Oct. 2011), Sofiane CHABANE (PD, Sep. 2014 - Juin 2015), David Roux (PD, CEA DAM, Janv. 2010 - Juil. 2010)

Collaborateurs administratifs

Christine TURCAT (UBP)

Identité scientifique

Les recherches adressées par le thème **CEM, Compatibilité ElectroMagnétique** s'inscrivent dans le développement de modèles numériques et/ou expérimentaux pour la caractérisation électromagnétique de dispositifs complexes ou de scènes d'interaction onde/systèmes électroniques ou vivants. Si les problématiques de CEM sont bien souvent un enjeu industriel, les travaux des chercheurs du thème CEM portent avant tout sur le volet scientifique de la compréhension et de la prédiction des phénomènes de couplage et d'interaction des perturbations électromagnétiques. Les objectifs visent ainsi à concevoir des méthodologies et des outils généraux amonts pour appréhender efficacement des problèmes de CEM et de BioCEM.

Les sujets de recherche se répartissent dans trois opérations scientifiques :

- **Modélisation et simulation numériques en CEM**

Des expertises ont été développées sur divers schémas numériques pour résoudre les équations de Maxwell principalement dans le domaine temporel. L'objectif est de proposer des simulations numériques approchant au mieux des problèmes réels de CEM. L'élaboration de modèles rigoureux et novateurs est la première étape. Leur utilisation dans des codes de calcul 1D ou 3D déterministes et basés sur des maillages structurés, non structurés ou hybrides répond à de nombreuses problématiques classiques de CEM. Toutefois, les incertitudes inhérentes à tout problème de CEM nous ont conduits à intégrer la dimension stochastique dans nos approches numériques. De même, des travaux amont sur l'application du principe du retournement temporel en CEM et sur l'identification de sources permettent d'aborder de nouveaux problèmes. L'équipe dispose de ses propres codes de calcul (FDTD, FVTD, hybrides, codes de lignes, FEM, ...) et de codes commerciaux (CST®, FEKO®, Altair®HyperMesh®).

- **Perturbation des électroniques**

Cette activité de recherche concerne la modélisation et l'analyse des phénomènes transitoires dans les systèmes d'énergie et de communication. L'objectif scientifique est de proposer et développer des solutions viables qui permettent de réduire les effets conduits et rayonnées liés à ces phénomènes transitoires. Il s'agit donc de maîtriser l'énergie électromagnétique qui s'échappe des appareillages en électronique et en électronique de puissance et de garantir leur cohabitation : c'est la compatibilité électromagnétique appliquée à l'électronique de puissance. Les appareils de conversion d'énergie

présentent à ce propos un champ fertile de sujets de recherche, les niveaux énergétiques sont plus importants et ils sont souvent à l'origine des défections hasardeuses des électroniques.

Les équations de Maxwell définissent le cœur théorique et scientifique de ce domaine. Ensuite, c'est la rigueur du mathématicien qui entre en jeu pour les mises en équation et les résolutions numériques. Mais rapidement, on se retrouve limité par la multitude de circuits électroniques, d'effets parasites, de connecteurs et d'agressions extérieures. Le rôle du physicien praticien prend alors le relais : analyser le problème, déceler les éléments pertinents, déduire les simplifications, proposer des modèles et réaliser les simulations.

- **Mesures et expérimentations**

Le thème CEM dispose d'une Chambre Réverbérante à Brassage de Modes (CRBM) de très grandes dimensions (8,40m x 6,70m x 3,50m) et équipée de moyens de génération et d'acquisition des signaux permettant des mesures pour la caractérisation électromagnétique de systèmes de 80MHz à 10GHz. Le volume utile de cette structure, d'environ 80 m³, en fait le moyen de mesures de dimensions les plus importantes au niveau académique et national. Cet avantage confère à cette CRBM la possibilité d'expérimentations sur des grands systèmes (de type véhicules automobiles, par exemple) tout en s'affranchissant des couplages électromagnétiques entre antenne d'émission et dispositifs d'acquisition (antennes, sondes). Outre la caractérisation électromagnétique de systèmes et équipements (réseau de câbles, par exemple), les recherches menées en CRBM adressent la mise au point de protocoles de mesures ainsi que l'analyse des propriétés de l'environnement électromagnétique généré au sein de dispositifs pour des applications, notamment, en bio-CEM (système d'exposition). Dans ce domaine, il est à noter que l'Institut PASCAL a été précurseur pour l'utilisation de CRBM dans l'étude des effets de rayonnements électromagnétiques sur des cellules vivantes. Enfin, des équipements pour la génération d'ondes planes (cellules TEM et GTEM) et les matériels associés apportent une expertise complémentaire aux expérimentations réalisées en CRBM. L'ensemble de ces moyens expérimentaux est identifié sous la désignation « plateforme PACEM » intégré au service UBP START de l'UBP.

Contexte

Les activités de recherche en CEM, peu nombreuses sur la scène nationale, sont, de par leur nature, une niche scientifique qui répond à des besoins de plus en plus importants. Les travaux originaux réalisés dans le thème CEM ont permis de tisser des liens avec des centres académiques ou industriels aussi bien au niveau national qu'international.

Les travaux précurseurs en CEM stochastique initiés avec l'Axe MMS (débutés avec anciennement le laboratoire LAMI) se sont poursuivis naturellement dans le cadre du programme transversal de l'Institut Pascal lors du regroupement de nos structures. Ce thème s'est ouvert à l'international à travers des collaborations avec les universités de Nottingham (UK), d'Adélaïde (Australie), de Split (Croatie) et Politecnico di Torino (Italie). Nos recherches s'inscrivent également dans le cadre du Labex IMobS3. Les sujets traités trouvent un écho sur la scène régionale, en particulier dans le cadre du projet sur le véhicule hybride et électrique avec la partie cohabitation des électroniques avec la commande aléatoire et l'amélioration du rendement avec la modulation vectorielle angulaire. Ce sujet est fortement soutenu par la Satt Grand Centre dans le cadre d'un projet de maturation et de la génération d'une grappe de brevets et de deux nouveaux brevets en phase de finalisation. Cette niche peut s'avérer déterminante à l'échelle nationale et ouvre des perspectives intéressantes à l'échelle internationale. Par ailleurs, notre expertise avec la méthode haute résolution Matrix Pencil nous a permis de nouer des partenariats régionaux avec la société Landis+Gyr pour le comptage et le laboratoire NeuroDol pour l'analyse de la douleur, nationaux avec le service comptage d'EDF Clamart et internationaux avec Sungkyunkwan University en Corée du sud pour la signature radar, l'Université Saints-Cyrille-et-Méthode en république macédonienne pour l'analyse du rayonnement et l'Université de Split en Croatie pour l'analyse des phénomènes de propagation et couplage.

Les travaux sur le retournement temporel ont été fortement soutenus à travers des bourses de thèse du CEA LIST et du CEA DAM. Le centre de Gramat de ce dernier organisme a été aussi notre partenaire avec le laboratoire de mathématiques de l'UBP sur les recherches initiées sur l'identification de sources. La majorité des travaux de recherche menés en BioCEM ont pris place dans le cadre formel du laboratoire sans mur (Laboratoire de Recherche Correspondant LRC) créé en avril 2011 entre l'équipe CEM et le CEA de Gramat. Ces recherches, pluridisciplinaires par nature, sont menées en collaboration étroite avec des biologistes de l'IRHS de l'Université d'Angers et des physiciens du laboratoire SIAM de l'Université de Pau.

Une spécificité du thème CEM réside dans les nombreuses collaborations industrielles nouées tant sur le plan régional que national (cf § Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel). Les

expertises sollicitées conduisent la plupart du temps à traiter de véritables problèmes de recherche et à en faire émerger de nouveaux. A titre d'exemple, citons la caractérisation électromagnétique de blindages de câbles par la mesure d'efficacité de blindage en CRBM : le besoin d'évaluer les performances de liaisons blindées aux fréquences supérieures à 100MHz nous a conduit à la mise au point de protocoles novateurs.

Deux filières de formation Bac+5 s'appuient sur les compétences de l'équipe CEM et irriguent en retour les recherches à travers des stages et des thèses :

- le master spécialité « Compatibilité Electromagnétique » (formation unique en France). La responsabilité de cette formation est assurée par P. Bonnet ;
- l'option « Conversion d'Energie et Robotique du département Génie Electrique de Polytech Clermont. La gestion/organisation de ce parcours est assurée par C. Pasquier.

Les HDR du thème CEM sont tous rattachés à l'Ecole Doctorale des Sciences Pour l'Ingénieur (direction : F. Paladian).

Réalisations

S'appuyant d'une part sur l'expertise du thème CEM en simulations numériques temporelles et sur les chambres réverbérantes à brassage de mode et d'autre part sur le fait que le retournement temporel fonctionne d'autant mieux que le milieu est réverbérant, plusieurs avancées ont été réalisées dans ce cadre.

- Proposition de nouveaux paradigmes basés sur le principe du retournement temporel en électromagnétisme pour la caractérisation d'équipements électroniques. En particulier la possibilité de focalisation sélective a été démontrée.
- Quantification de l'impact d'incertitudes affectant le processus de retournement temporel avec une méthodologie originale combinant des techniques d'analyse de sensibilité avec la méthode de collocation stochastique précédemment étudiée dans l'équipe CEM.
- Généralisation du principe du retournement temporel avec le développement d'une méthode originale baptisée Linear Combination of Configuration Fields. Cette méthode qui s'apparente à la résolution d'un problème inverse s'est révélée applicable à plusieurs problèmes d'identification de sources en électromagnétisme.
- Mise en œuvre d'un calcul temporel de section efficace totale de diffraction appliqué à la caractérisation de l'efficacité des brasseurs de modes et à l'identification de cibles en chambres réverbérantes.

Sur les méthodes numériques proprement dites un formalisme de décomposition de domaine a été appliqué à des problématiques CEM. En particulier un modèle spécifique d'ouverture dans des cavités représentant des blindages permet de ne plus discrétiser le support de ces ouvertures dans les calculs 3D.

Fruit d'une étroite et longue collaboration avec des chercheurs probabilistes (devenus membres de l'axe MMS à la création de l'IP), l'équipe CEM est pionnière dans la prise en compte et le traitement des incertitudes. Différentes méthodes empruntées au domaine de la fiabilité structurale ont ainsi été mises en œuvre pour évaluer la "fiabilité CEM" de divers dispositifs. En particulier des approches efficaces (Subset Simulation, approximations FORM, SORM, polynômes du chaos, méthodes des éléments finis stochastiques) pour évaluer la probabilité de défaillance définie en termes d'exigences imposées sur des observables ont été testées et validées. Des méthodes d'analyse de sensibilité à la défaillance permettant de quantifier et hiérarchiser les effets des paramètres aléatoires sur la fiabilité du système étudié ont également été introduites en CEM.

Sur ce même domaine, des recherches ont été menées sur la mise au point d'un protocole de mesure expérimental pour l'analyse du comportement d'un ATR (Air Transport Rack) en environnement stochastique. Cette approche reprend les fondements de la méthode de Collocation Stochastique (CS) et de la méthode Unscented Transform (UT) permettant de prendre en compte la(es) loi(s) de probabilité de(s) la variable(s) aléatoire(s) (v.a.) considérée(s) et de déterminer l'observable par un faible nombre de points de mesure. Par exemple, l'influence de la position angulaire de l'ATR placé dans un caisson muni d'une trappe, et de la dimension de l'ouverture, ont été successivement, puis conjointement étudiées. Cette méthodologie, validée par application de la méthode de Monte Carlo (MC), peut par conséquent s'apparenter à une technique d'échantillonnage améliorée, permettant de rendre légitime (ou non) l'utilisation d'approximations venant simplifier la topologie de l'équipement étudié. Il a été notamment démontré la nécessité, dans l'étude de la vulnérabilité d'un système électronique, de prendre en compte l'ensemble des composants de la carte électronique. Enfin, pour plusieurs v.a. considérées, le protocole de mesure mis au point permet d'identifier le paramètre le plus influent et son impact sur la réponse du système.

Les travaux expérimentaux viennent donc en complément des recherches théoriques mais conduisent également à des réalisations propres :

- Réalisation complète d'un banc de mesure d'impédance de transfert de blindage de câble.
- Méthodologie pour la détermination de l'efficacité de blindage en chambre réverbérante.
- Avancées importantes en BioCEM (cf ci-dessous).

Les travaux en BioCEM qui se caractérisent par l'originalité à la fois des sources d'émission électromagnétiques utilisées et par les modèles biologiques considérés ont conduit à de nombreux résultats :

- Expériences sur les cellules Murines. Deux stimulations (générateur Kentech+antenne Koshelev) distinctes à 20 min d'intervalle de 30,000 pulses (5 min, 930 kV.m⁻¹). L'ATP extracellulaire (eATP) augmente à la suite de l'exposition mais reste inférieure à la sortie causée par un choc hypotonique. Cette sortie se traduit bien par une baisse importante de la teneur intracellulaire en ATP. La clonogénicité et la viabilité sont peu affectées. En revanche, la Charge Énergétique Adénylique chute de manière importante en accord avec la sortie d'ATP.
- Expériences sur les levures. Exposition en environnement anéchoïque et CRBM de cellules eucaryotes (*Saccharomyces cerevisiae*) cultivées en bioréacteur pour permettre la régulation des températures, pH, pO₂, agitation et aération. Un bioréacteur spécifique a été conçu pour permettre le suivi pendant plusieurs heures de l'évolution de différents métabolites des levures soumises aux champs électromagnétiques. Pour des champs de quelques V.min⁻¹ en environnement anéchoïque à 500 MHz, 900 MHz et 2,4 GHz ainsi qu'en environnement CRBM pour des champs de 200 V.min⁻¹ à 900 MHz et 150 V.min⁻¹ à 2,4 GHz aucune influence n'a pu être mise en évidence sur la vitesse de croissance et les différents métabolites observés.
- Expériences sur les levures. Stimulations à l'intérieur d'une cellule TEM (f = 900 MHz, E = 1250 V.m⁻¹, DAS = 15,9 W.kg⁻¹). L'analyse physiologique des cellules soumises à ce traitement a montré que l'exposition des levures ne modifie pas leur dynamique de croissance, n'affecte pas la peroxydation des lipides et n'induit pas la formation de granules de stress.
- Expériences sur les rosiers. Etude sur le long terme (plusieurs mois) de l'impact de l'exposition en CRBM (3*30 min à 5 V.m⁻¹) sur le développement de rosiers. L'axe principal ainsi que les ramifications latérales issues des bourgeons les plus basaux montrent une croissance similaire entre témoin et exposés. L'allongement est en revanche significativement différent dans le cas des bourgeons les plus apicaux conduisant à une suspicion d'épigénétisme.

Les actions menées sur la perturbation des électroniques se répartissent en une partie fondamentale et une partie appliquée :

- La partie fondamentale consiste à développer des méthodes numériques pour analyser les phénomènes transitoires et leurs effets dans des scènes complexes avec une expertise avancée dans l'amélioration de la théorie des lignes et se rapprocher le plus possible de la théorie des antennes. Une accélération importante s'est opérée grâce à l'introduction de la méthode haute résolution "Matrix Pencil" que nous avons appliquée à des signaux dans l'espace des complexes et non plus uniquement des signaux dans l'espace des réels. Cette activité a permis de répondre favorablement à différents sujets, identification de charges électriques sans intrusion en utilisant les transitoires des charges, identification et classification de cibles par Radar large bande, étude du rayonnement électromagnétique des courants porteurs en ligne en zone proche et lointaine.
- La partie appliquée a pour objectif de réduire les perturbations conduites et rayonnées des systèmes électriques tout en conservant la fonctionnalité des montages existants et sans en augmenter les coûts de production, la solution que nous avons proposée est celle de l'étalement de spectre que nous avons appliquée à différents convertisseurs (hacheurs, onduleurs, variateurs de vitesse). Cette idée a fait l'objet d'une thèse de doctorat avec l'Institut Français du pétrole et est approfondie dans le cadre d'une thèse ministérielle. Elle a été implantée dans plusieurs démonstrateurs pour véhicule hybride ou électrique et a fait l'objet du dépôt d'une grappe de brevets. Ce projet a été sélectionné en 2014 par la société accélératrice de transfert de technologie grand centre (Sattgc) pour une phase de maturation avec comme objectif de transférer les résultats technologiques vers l'industrie.

L'importance des câbles dans les problèmes de CEM et consécutivement l'apparition de défauts ou d'usure qui peuvent affecter les propriétés électriques, nous a amené à développer trois méthodes :

- La méthode de « corrélation adaptative » fournit un nouvel algorithme pour compenser la dispersion du signal. Elle permet de mieux localiser et mieux détecter les singularités sur des câbles de n'importe quelle longueur.
- La deuxième méthode proposée, baptisée TRR (en anglais Time reversal Reflectometry) est basée sur le principe de la réflectométrie et du retournement temporel. Elle permet de caractériser le vieillissement des câbles électriques.
- La troisième méthode proposée, baptisée RART (Réflectométrie associée à un processus de retournement temporel) est basée sur les principes de la réflectométrie et du retournement temporel et permet d'améliorer la détection des défauts électriques non francs liés à une dégradation de l'isolant.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#66	Uncertainty quantification and propagation for computational and experimental electromagnetic compatibility (EMC) reliability
#67	Matrix pencil method applied to smart monitoring, electromagnetic compatibility and ultra wide band RADAR
#68	Novel modulation of dual-vsi fed open-end motor to enhance efficiency for electrical and hybrid vehicles applications
#69	Evaluations of screening performance for new generation braided cable shields
#70	BIOEM research laboratory corresponding partnership

Projets collaboratifs académiques

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	R&T	R&T CNES	C	2012-2015	Analyse de sensibilité des paramètres caractéristiques d'antennes à l'aide de la méthode de collocation stochastique.
	Laboratoire sans mur	LRC BIOEM	C	2011-2015	LRC UBP – CEA Gramat : Bioélectromagnétisme, méthodes numériques, retournement temporel, CEM stochastique.
	REI DGA	PRINCE	C	2008-2011	PRise en compte des INcertitudes en Compatibilité Electromagnétique.
	ANR	CISSI	C	2006-2010	Calcul Intensif Stochastique et Sûreté des Systèmes Industriels.
Internationaux	COST	EMF-MED	C	2014-2018	European network for innovative uses of EMFs in biomedical applications.
	COST	GPRadar	C	2013-2017	Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar.
	PHC Toubkal	CEMPLC	P	2013-2015	Compatibilité électromagnétique des courants porteurs en ligne.
	PNR	EEOECH	C	2011-2013	Effets Electro-Thermique d'une Onde Electromagnétique sur le Corps Humain.
	BRI	EEOECH	C	2010-2013	Safety Assured Autonomous Navigation for Personal Transport Service in Dynamically Changing Environments.
	PHC Cogito	EMIPLC	P	2011-2012	EMI study of PLC services.
	CURIE	EM Trans PLC	P	2010-2012	Modelling of ElectroMagnetic Transients and PLC Energy services.
	PHC CEDRE		C	2010	Communication Indoor et nOutdoor par Couyant Porteur en Ligne.

Production scientifique

Il est nécessaire de rappeler d'une part le faible nombre de revues consacrées à la CEM et d'autre part la petite taille de notre communauté scientifique conduisant à des *impact factor* faibles. Traditionnellement, les CEMistes publient les résultats de leurs recherches principalement lors de colloques internationaux à comités de lecture.

✓ *Communications écrites*

- 43 ACL : EABE (5) - IEEE (5) - JCP (2) - BEM (1) - AUT (3) - IJAP (3) - PIER (6) - EE (1) - AT (2) - EP (1) - COMPEL (1)
- 5 OS : Chapitres de livre (5)
- 105 ACTI
- 8 ACTN

✓ *Communications orales*

- 9 INV
- 105 COM

✓ *Rapports scientifiques*

10 rapports scientifiques pour des projets collaboratifs internationaux (BRI Corée, Marie Curie, PHC Toubkal, PHC Cogito, PNR, ANR CISSI, Expertise OSEO).

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ *Invitations et attractivité internationales*

Les personnels du thème CEM ont donné 9 communications orales invitées en conférences internationales et un tutorial invité durant la période (voir Annexe 6.4, et compléments CEM page 313). Le thème a accueilli 8 personnalités étrangères sur contrats de séjour invité de l'Université Blaise Pascal, ou du LabEx IMobS3 ou encore Erasmus (Adélaïde, Nottingham, Turin, Milan, Split...). Les personnels de CEM ont été invités sur des séjours à l'Université Nord d'Antsiranana et à l'Université de Split. 5 thèses en co-tutelles internationales ont été soutenues (Bologne, Zagreb, Beyrouth, Seoul, Fès..).

Des liens forts sont établis avec l'Univ. Sungkyunkwan (Corée du Sud), l'Univ. Sidi Mohamed Ben Abdallah (Maroc), l'Univ. de Split et de Zagreb (Croatie), l'Univ. Cranfield (Royaume Uni), l'Univ. de Bologne (Italie), l'Univ. de Saïda (Liban), l'Univ. de Jijel (Algérie) et l'Univ. Nord d'Antsiranana (Madagascar).

✓ *Conventions bilatérales*

Université Libanaise à Saïda au Liban (2010).
Ecole Nationale des Ingénieurs de Sousse en Tunisie (2012).
Faculté de génie électrique, de mécanique et d'architecture navale de Split en Croatie (2013).
Université Nord d'Antsiranana, Madagascar, convention bilatérale avec l'UBP (début : juillet 2013).

✓ *Prix et Distinctions*

Deux communications internationales primées "Best Papers". Prix du meilleur poster CEM 2014.

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Comité éditoriaux

Editeur invité pour la revue « International Journal of Antennas and Propagation » (2012) ; Membre de l'Editorial Board de la revue « Plant Signaling and Behaviour (2011) ; Editeur associé à la revue « Advanced ElectroMagnetics ».

Comités scientifiques

Comité scientifique de SETIT (2011, 2012, 2014).
Comité scientifique de CEM (2010, 2012, 2014).
Comité scientifique CMEM (2015)
Symposium on Embedded EMC (2EMC, Rouen , Septembre 2010), ICWCUCA 2012 Clermont-Ferrand.

Comités d'organisation

17^{ème} Colloque International et Exposition sur la Compatibilité Electromagnétique (CEM 2014 Clermont) ; Session promotion du CNU63 (Clermont Ferrand 2013) ; Colloque national de l'EEA (Clermont-Ferrand 2013) ; Comité local d'organisation du congrès CURIE (2014) ; Salon VALOR'SHS (2015) ; Workshop Uncertainty Modeling for ElectroMagnetic Applications (UMEMA 2015).

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

- Mars 2010/2013 : F. Paladian Présidente élue au niveau national de la Commission E « Compatibilité Electromagnétique » de la branche française de l'Union Radio Scientifique Internationale (URSI).
- Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication (SEE Auvergne) : K. El Khamlichi Drissi (Président), F. Paladian (Secrétaire), C. Pasquier (Trésorier).

✓ *Expertises*

Les personnels du thème CEM sont invités régulièrement à réaliser les expertises scientifiques pour l'ANR et l'ANRT, pour la Swiss National Science Foundation, la DGA, l'ONERA... Ils participent en tant que rapporteurs (36) ou en tant qu'examineurs à des jurys de thèse ou d'HDR extérieures.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Nous avons une stratégie dynamique vers l'environnement socio-économique basée sur nos travaux théoriques et nos moyens expérimentaux. L'expertise des membres du thème CEM a ainsi été mise à contribution dans le cadre de prestations avec de nombreux partenaires socio-économiques. Nous privilégions les travaux offrant le volet recherche le plus important. De même, nos partenaires nous sollicitent avant tout pour les connaissances spécifiques développées dans le cadre de nos activités de recherche (stochastique, mesures d'efficacité de blindage, modélisations spécifiques de câbles,...). Bien souvent, à travers ces valorisations de compétences de nouvelles problématiques scientifiques émergent et viennent alimenter nos sujets de recherche. Certaines relations contractuelles régionales sont régulières depuis plusieurs années (Ex : *Caractérisation électromagnétique HF de blindages de câbles en Chambre Réverbérante* – Tresse Industrie - Ambert 63) et ont permis l'ouverture de nouveaux marchés pour ces industriels.

Notre expérience sur la modélisation électromagnétique de câblages a notamment débouché sur des collaborations avec EDF R&D (Clamart) dans le cadre de deux thèses CIFRE sur l'analyse des perturbations transitoires induites par la foudre sur des installations de transport d'énergie et sur la modélisation haute fréquence des transformateurs.

Les travaux fondamentaux développés autour de la méthode de haute résolution « Matrix Pencil » ont trouvé une application concrète, celle de l'identification non intrusive des charges électriques : NIALM (Non Intrusive Appliance Load Monitoring). Ces travaux ont donné lieu à deux brevets, européen et mondial dans de multiples pays en partenariat avec EDF et Landis+Gyr.

Nous avons également développé la technique de l'étalement spectral en remplaçant la commande à fréquence fixe par une commande à fréquence aléatoire. Cette technique permet de réduire notablement les perturbations conduites dans les systèmes de l'électronique de puissance et le mode commun en tension et en courant. Cette idée a fait émerger une collaboration réussie avec l'IFPEN et a permis d'aboutir à un projet de maturation avec la SATT Grand Centre pour réaliser du transfert de technologie.

✓ *Production*

- 5 BRE : WO (2), EP (1), FR (2) - liste exhaustive en Annexe 6.4.
- 35 rapports techniques : IFPEN, Orange Lab, CEA Gramat, SAGEM, Babymoov, Tresse Industrie, Landis+Gyr...

✓ *Liste des contrats*

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	IND	COPUSI	P	2010-2011	Etude d'une méthode de classification par usage des charges électriques domestiques détectées par la fonction identification.	Landis+Gyr
	IND	MODALE	P	2011-2014	Modulation vectorielle aléatoire des onduleurs de tension en vue de réduire les perturbations conduites et rayonnées des variateurs de vitesse.	IFPEN

IND	ASYN	C	2008-2011	Apprentissage et annulation des bruits synchrones mesurés sur ligne électrique Indoor en vue d'améliorer la Qos des flux audiovisuels.	Orange Lab
IND		C	2009-2012	Calcul des transitoires électromagnétiques le long des liaisons par câbles enterrés ou câbles marins.	CIFRE EDF
IND		C	2014-2017	Modélisation HF de transformateurs.	CIFRE EDF
IND	EMIPHY	C	2010-2015	Détermination d'efficacité de blindage de tresses de blindage.	Tresse Industrie
IND	DIGITAL GREEN	C	2010-2015	Développement et caractérisation d'un nouveau type de babyphone faible consommation.	Babymoov
IND		C	2010	Expertise scientifique des systèmes de verrouillage.	CISM-OSEO
IND		C	2011	Mesures d'efficacité de blindage de matériaux en CRBM.	TADL
IND		C	2012	Mesures d'efficacité de blindage de liaisons blindées en CRBM.	LEAR AUTOMOTIVE
IND		C	2012	Tests en immunité rayonnée en CRBM.	POLYDIAM
IND		C	2013	Identification de signaux HF perturbateurs.	LIGIER
IND		C	2011-2012	Etude de l'influence d'une exposition aux champs forts sur une boucle d'impact.	SAGEM
IND		C	2014	Etude expérimentale du couplage champs forts sur une boucle d'impact.	SAGEM
IND		C	2014-2015	Caractérisation électromagnétique de liaisons souples de type FLEX.	SAGEM

✓ *Actions de diffusion scientifique vers le grand public*

- Séminaire à l'invitation de l'Université Rennes 1 lors de la Cinquième Ecole Interdisciplinaire de Rennes sur les Systèmes Complexes (Ecole Thématique RISC-E) : « Prise en compte des incertitudes dans les problèmes de compatibilité électromagnétique », Rennes, 10 oct. 2013.
- Conférence au chapitre EMC-IEEE France Section : « Gestion des aléas en compatibilité électromagnétique », Télécom ParisTEch, 10 juin 2014.
- Conférence « Voyage dans le temps des ondes électromagnétiques » à l'invitation de l'Université d'Angers, Faculté des Sciences, 18 avril 2013.

Analyse SWOT

Forces

Les activités de recherche du thème CEM jouissent d'une bonne visibilité sur la scène nationale et internationale. Les domaines couverts sont variés et s'appuient à la fois sur des activités théoriques, numériques et expérimentales. Les travaux s'inscrivent dans une perspective fondamentale et appliquée et répondent à des demandes sociétales et économiques. Des liens industriels forts ont été tissés. Des actions de valorisation sont entreprises. L'existence d'un laboratoire sans murs avec le CEA renforce le potentiel de recherche. Les interactions des activités de recherche avec les formations locales en CEM sont bénéfiques dans les deux sens.

Faiblesses

Trop faible valorisation, via des publications, des travaux de recherche due à l'absence de chercheur CNRS. Les enseignants-chercheurs du thème CEM sont très sollicités et fortement impliqués dans des tâches administratives et d'enseignement. Manque de place pour la mise en œuvre d'expérimentations. Manque de liens socio-économiques dans la cadre de la nouvelle région RAA.

Opportunités

Tisser et développer les rapports existants dans le cadre de la future région RAA (Laboratoire Ampère-Lyon, G2Elab - Grenoble). Profiter d'avantage des professeurs invités pour accroître les collaborations internationales. Formaliser les besoins CEM des autres axes de l'Institut Pascal. Valoriser les compétences en BioCEM lors du rattachement du laboratoire ISIT. Mise en exergue du secteur SPI via la réorganisation du site Clermontois en Collegia.

Risques

Coûts de maintenance des plateformes techniques (logicielle & matérielle). Renoncement à certaines collaborations industrielles en raison des difficultés administratives et juridiques au montage des dossiers.

1.2.5. Programme Transversal

Identité du Programme

Le Programme Transversal (PT) rassemble les travaux de recherche développés aux interfaces disciplinaires de l'Institut Pascal. Par définition, ces actions sont portées par des personnels relevant d'au moins deux Axes de l'Unité. Le degré d'intégration peut être qualifié d'interdisciplinarité^{3,4}. Cette interdisciplinarité a été développée à l'IP sur 2012-2015 au sein d'un même grand domaine, les Sciences et Technologies. A la création de l'Institut Pascal, le Programme Transversal a été pensé comme composant vertical de la matrice scientifique fonctionnelle du laboratoire. Les actions d'étude retenues en 2012 avaient été construites à partir de concertations entre les acteurs disciplinaires des trois laboratoires fondateurs de l'Institut Pascal. L'interdisciplinarité est déclinée concrètement sur les sections suivantes :

CNU60/CN09	CNU62 64 65/CN10	CNU63/CN08	CNU62/CN10
CNU61/CN07	CNU28 63/CN03 08	CNU60/CN09	CNU60/CN09

Sur les cinq "Actions" interdisciplinaires initialement prévues en 2012, quatre ont été mises en oeuvre :

- Action Machines et Robots Intelligents et Innovants (MRII)

Portée par les acteurs des Axes MMS et ISPR, elle a pour objectif de développer des machines, robots, véhicules et systèmes automatisés par une approche globale prenant en charge les aspects de mécanique, perception et automatique, et maîtrise du comportement réel des systèmes et ce, en tout environnement. Cette Action a bénéficié d'un long partenariat historique de près de quinze ans, i.e., bien avant la création de l'Institut Pascal. A cet égard, cette Action a passé la phase de démarrage depuis longtemps, particulièrement aidée par la volonté politique commune des laboratoires LaMI et LASMEA d'identifier et de mettre des moyens sur les thèmes des Machines et des Robots Mobiles et Manufacturiers (première proposition d'Axe de CPER 2000-2006). Par suite, ces acteurs ont été vecteurs de la structuration du laboratoire IP, mais aussi du site régional (cf. le pilotage du Défi 1 du LabEx IMobS3), et se sont inscrits comme partenaires dans le réseau EquipEx national CNRS ROBOTEX. Les problématiques adressées par l'Action sont précisément les architectures mécaniques optimisées sur une tâche (composants modulaires intelligents), la commande intégrant des capteurs extéroceptifs pour une intégration adaptative en système de production, les architectures mécatroniques pour robots multi-modes autonomes (dont la commande haute vitesse), en interaction avec l'environnement (compréhension de scènes - détection, fusion de données, localisation). Le contrôle de flottes de robots mobiles coopérants en environnement perturbé est également investi. Il s'agit là d'interdisciplinarité, orientée *projets*.

- Action Innovations dans les Bioprocédés (IBP)

Totalement nouvelle, cette Action est proposée par les personnels des Axes GePEB et PHOTON et porte le focus sur les bioprocédés : i) intégrer des connaissances et des modélisations phénoménologiques fondamentales de physique (électromagnétisme) pour déterminer des performances de processus photo-biochimiques, et ii) développer de nouvelles technologies, et/ou capteurs à vocation biologique/chimique et d'aide au pilotage de bioréacteurs. L'Institut Pascal propose sur cette Action une proximité géographique, et par suite des associations d'expertise originales sur le territoire : la modélisation des interactions électromagnétiques appliquée à l'ingénierie de la photosynthèse, et le développement de micro-systèmes capteurs sélectifs de composés gazeux ou liquides intégrables en bioréacteurs pour la mesure en ligne. Ces deux approches servent un enjeu sociétal fort : la production de vecteurs énergétiques stockables. Cette action est développée en interdisciplinarité.

- Action Méthodes Probabilistes (MP)

Cette Action interdisciplinaire est portée par les Axes MMS, PHOTON et GePEB. Elle bénéficie elle aussi d'ententes collaboratives datant d'avant 2012, et ses acteurs, en particulier des expertises de Modélisations Probabilistes et de CEM, ont été très actifs dans le processus de définition du Programme Transversal à la création de l'IP. L'Action propose d'introduire les méthodes de traitement stochastique et probabiliste pour assister des modèles développés pour des objets traités à l'Institut Pascal : modélisation mécano-

³ Définitions AERES. Pluridisciplinarité : une discipline pilote utilise ou applique des méthodes et/ou les instruments d'une autre discipline pour traiter d'un problème propre à son domaine.

⁴ Interdisciplinarité : représente un degré d'intégration supplémentaire par rapport à la précédente. Coopération de plusieurs disciplines autour d'un objet de recherche commun (i.e., recherches orientées "projet"). Chaque groupe travaille sur ses propres questions et partage l'information avec l'autre groupe disciplinaire. Synthèse disciplinaire qui va au-delà de la juxtaposition et dépasse les situations d'application.

probabiliste de la compression sur aliment, compatibilité électromagnétique en environnements stochastiques complexes, optimisation fiabiliste de la performance énergétique des bâtiments.

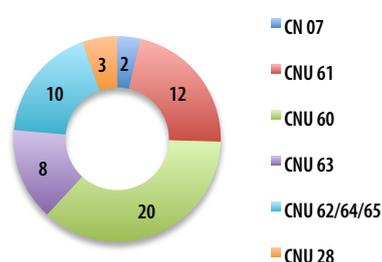
- Action Matériaux et Modélisation Multi-Echelle (MMME)

Cette Action propose de mettre en synergie les expertises *matériaux* de différentes sections disciplinaires de l'Institut Pascal sur des approches multi-physique et multi-échelle de comportements complexes. Egalement nouvelle et concomitante à la création de l'Institut Pascal, cette Action a pour objectif le développement de matériaux et systèmes actifs intelligents réagissant à des stimuli physiques et/ou chimiques, pour être intégrés dans des systèmes technologiques : micro- voire nanostructures fonctionnelles, capteurs/actuateurs. Les trois premières années, le focus a été porté sur l'exploitation de caractéristiques photoniques d'un système pour la mesure sans contact du pH d'une solution, sur les modélisations d'un système intelligent à base de patches MFC (macro-fibres composites) piézoélectriques, et sur les instabilités de pliage d'hydrogels sous l'influence de pH (microsystème optique).

Cartographies récapitulatives

Personnels

- 55 Permanents EC/C répartis selon les sections suivantes :



- 9 BIATSS/ITA : 3 IE et 1 IR UBP, 3 IE et 2 IR CNRS
- 13 doctorants dont une partie des recherches est inscrite sur les Actions du PT
- 7 post docs ou CDD dont une partie des recherches s'inscrive sur les Actions du PT.

Analyse :

On retrouve la prépondérance des acteurs de la CNU60 (CN09) et de la CNU61 (CN07) due à une histoire commune plus longue qui a entraîné l'agrégation progressive de forces ETP avec la montée en puissance des activités de recherche soutenues par les CPER 2000-2006 et 2007-2013. On notera une mobilisation remarquable des personnels de GePEB (CNU62/64/65, CN10) et de PHOTON (CNU63/28, CN08/03) sur des sujets nouveaux. Ainsi, les acteurs du thème MINAMAT/PHOTON experts des microsystèmes capteurs ont-ils joué le jeu avec un investissement conséquent de 35% de leur activité sur le PT. On peut évaluer à 25% d'activité sur l'Action MR11 et 20% sur l'Action MP. L'ETP des permanents EC/C/BIATSS/ITA total annuel pour le PT s'élève à 7,5 environ à mettre en rapport avec les RH doctorants affectés au PT et la production scientifique (discutés ci-après).

La question des moyens octroyés aux Actions du PT transparait bien évidemment dans l'analyse des ressources humaines. Le rapport des doctorants affectés pour partie aux études transversales aux doctorants d'axe est de 13/133 (thèses en cours à l'IP), inférieur à 10%. La répartition des sources de financement des doctorants du PT est la suivante :

	ED SPI/MESR	LabEx IMobS3	EquipEx ROBOTEX	CPER Auvergne/ CG Allier
# doctorants	3 (thèses du PT) (+ 2 en moindre partie sur PT)	4	1	3
# post docs	-	1		

Trois financements MESR ont été sollicités après classement sur la liste prioritaire de l'IP d'un sujet transversal (ou en partie transversal) sur les contingents de l'Ecole Doctorale des Sciences Pour l'Ingénieur de 2012 (2, sur un total de 3 alloués à l'IP) et 2013 (1, sur un total de 3), ce qui traduit un effort de soutien de l'Institut Pascal au PT. Les Défis 1 et 3 d'IMobS3, l'EquipEx et le CPER Innov@Pôle ont largement abondé puisque les thématiques de ces trois programmes pluridisciplinaires sont traitées dans le PT.

Equipements

Les travaux de recherche du PT sont réalisés sur les plateformes et en utilisant les équipements disciplinaires des Axes. On citera les trois plateformes robotiques i) d'usinage, ii) multi-bras et iii) multi-composants. La chambre réverbérante à brassage de modes est un outil déterminant qui garantit des champs électromagnétiques homogènes à l'exposition de divers sujets biologiques.

Projets collaboratifs académiques

Nous récapitulons ici les projets collaboratifs supportant pour partie les activités du Programme Transversal :

	Type	Nombre
Nationaux	ANR Collaboratifs	2
	ANR PIA1 LabEx IMobS3	Défi 1 : 2 Actions Défi 3 : 2 Actions
	ANR PIA1 EquipEx ROBOTEX	2 Actions
	Chaire d'Excellence Région Auvergne	1
	CPER Axe Innov@Pôle	2007-2013
Internationaux	FP7	1
	BRI-Corée	1

Ces programmes ont essentiellement abondé en ressources humaines. Le Programme Transversal a reçu le soutien FEI (fonctionnement et petit équipement) du LabEx IMobS3 (Défis 1 et 3) et a bénéficié des budgets des équipes de MMS, ISPR, PHOTON et GePEB, à discrétion des acteurs concernés. Aucune part spécifique au PT n'a pu être dégagée sur les FEI récurrents annuels au niveau du laboratoire sur les années 2012 à 2015 en raison du *faible* montant des FEI des tutelles alloués (voir section 1 du rapport).

Production scientifique

✓ Communications écrites

	ACL	OS	ACTI	ACTN	TOTAL
Communications écrites	18	1	30	5	54
	INV	COM	AFF	-	TOTAL
Communications orales	2	2	4		8

Les deux Actions les plus productives en terme de communications sont bien entendu celles qui ont débuté avant 2012. Le rapport ETP/production est analysé à la prochaine section.

✓ Logiciels, ressources, bases de données

2 codes de calcul stochastiques.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

L'Action MR11 jouit d'une audience nationale démontrée, puisqu'elle a été actrice dans le montage et lauréate du projet PIA1 LabEx IMobS3, et partenaire de la labellisation de l'EquipEx ROBOTEX.

S'inscrivant dans les thématiques des Défis 1 (Mobilité) et 3 (Procédés de Production d'Énergie pour la Mobilité) du LabEx IMobS3, les quatre Actions ont bénéficié de la politique d'incitation à l'attractivité internationale du LabEx en étant à l'initiative de l'invitation de trois personnalités scientifiques internationales : Maria-Luz RODRIGUEZ-MENDEZ (Pr., Univ. Valladolid, juil. 2012), Marc KAMLAH (Pr., KIT, Prof. Invité LabEx IMobS3, fév. 2013), Volodymyr LOBODA (Pr., DNU, Prof. Invité LabEx IMobS3, nov. 2014 et nov. 2015), sur des séjours d'un mois. Les projets développés au sein du Programme Transversal sont également inscrits au sein de collaborations nationales (IFSTTAR, UTC, INRIA, Institut Fresnel Marseille, CETHIL Lyon, ...).

✓ Invitations et attractivité internationales

Deux conférences invitées internationales et des cours invités (Collège de l'École Polytechnique, École Interdisciplinaire sur les Systèmes Complexes, EMC-IEEE Télécom ParisTech) sur l'Action Méthodes Probabilistes (processus stochastiques, approches fiabilistes, incertitudes et gestion des aléas en CEM).

✓ *Prix et Distinctions*

Outstanding Paper Award 2011 (COM internationale, Emerald Literati Network) pour l'Action MR11.

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Organisation de la Joint International Conference MTM & Robotics à Clermont-Ferrand (2012).

Comité d'organisation du colloque international CEM 2014.

Comités scientifique et d'organisation du Workshop international UMEMA 2015.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Des actions de transfert sont effectuées vers des partenaires locaux : ADIV - UMT Mécarnéo, et nationaux : contrats ABB/Renault ACI et SAFE Metal via la plateforme 2MATech, IRCCyN (Nantes) (Action MR11).

✓ *Production*

- 1 BRE

✓ *Liste des contrats*

1 FUI : Découpe de viande automatisée en partenariat avec l'ADIV (ITAI des filières Viandes) et deux sociétés industrielles (Action MR11).

Analyse SWOT

Un programme interdisciplinaire, mis en place au sein d'une unité de recherche nouvelle, appelle plus que tout autre une analyse de mise en oeuvre fonctionnelle. La gouvernance du PT est assurée par le directeur-adjoint du laboratoire et les Coordinateurs des Actions (deux par Action, issus des deux Axes porteurs principaux). Une grande liberté a été laissée aux acteurs : considérée comme essentielle à ceux qui démarraient et exploraient des projets, témoin de la confiance apportée à ceux qui travaillaient en collaboration interdisciplinaire depuis des années.

Bilan RH/Production :

2013-2015	Programme Transversal	Institut Pascal
ETP des permanents EC/C	23	202
Doctorants et CDD en ETP	18+14	396
Communications écrites	54	854

Le rapport du nombre de productions écrites à l'ETP des personnels (EC/C et doctorants/CDD) pour le PT est de 1 et pour l'ensemble de l'IP, il est de 1,4. Une grande prudence doit être accordée à l'interprétation de ces rapports et à leur comparaison en raison de leur caractère moyenné qui est encore moins représentatif ici. Cependant, ils traduisent bien : i) l'écart dû aux phases de démarrage de certains projets du PT ; ii) la production liée aux actions pluridisciplinaires des personnels du PT est supérieure au minimum attendu (critère publiant à 0,5/an/ETP). Les actions qui bénéficient d'un long historique de collaborations tirent effectivement leur épingle du jeu, elles ont bien capitalisé ; celles qui ont démarré ont un rapport de production dans la norme attendue, ce qui est encourageant quand on sait qu'aucune des équipes engagées n'a de chercheur à temps plein.

Notons l'action structurante de site de MR11 puisqu'elle est au coeur de la proposition PIA1 IMobS3 fédérant au-delà du périmètre du laboratoire, et à partir de laquelle un des Axes de la candidature CAP 2025 du PIA2 sera construit sur un contour élargi vers l'Usine du Futur.

Le manque de moyens FEI et le nombre restreint de financements de thèse via le contingent annuel de l'ED SPI (voir rapport HCERES 2010-2015 de l'ED SPI) n'ont pas permis de lancer la 5e Action pluridisciplinaire "Imagerie Quantitative" prévue au Projet de l'IP (AERES 2011). L'objectif était de développer des outils d'analyse d'images après acquisition sur différents systèmes de vision par caméra, pour la modélisation (quantification, lois d'évolution) de phénomènes divers étudiés au sein de l'IP (mousses et émulsions, biocomposites, sols, particules photocatalytiques). Cette Action est particulièrement pertinente au vu des recherches effectuées à l'IP. Elle est de plus portée par une équipe leader sur le sujet (voir Axe MMS, thème MS, Mesures de Champs). Elle fait partie du Projet 2017-2021 de l'IP.

Forces

- Bonne reconnaissance nationale, voire au delà.
- A l'origine de l'implication dans les PIA LabEx IMobS3, EquipEx Robotex et dans le prochain projet I-SITE CAP 2025.
- Des démonstrations réalistes mettant en avant les recherches fondamentales des Axes.
- Des proximités d'expertises originales sur le territoire français, qui sont autant de plus-values à exploiter.

Faiblesses

- Les collaborations interdisciplinaires sont difficiles à mettre en place à cause du choc des cultures. Elles demandent un lourd investissement, ne serait-ce que pour commencer par l'apprentissage d'un vocabulaire commun. L'absence de cadre protecteur et rassurant sur le long terme est un risque interne aux actions pluridisciplinaires.
- Il est difficile de dégager des sujets transversaux pour lesquelles la plus-value scientifique est possible pour toutes les équipes concernées, ce qui réduit énormément le champ des possibles. En effet, aucune collaboration pluridisciplinaire, même au sein du même laboratoire, ne peut persister s'il y a des transferts de compétences à sens unique sous risque d'apparaître comme "prestation", ce qui n'est pas viable à long terme.
- Les difficultés de mise en place tiennent aussi au manque de moyens spécifiques : les actions du Programme Transversal ne sont pas à ce jour financées sur fonds propres (ce qui est devenu quasiment impossible dans la conjoncture actuelle) ; celles qui ont été initiées ont bénéficié transitoirement de fonds LabEx, mais sans la mise en place d'un système pérenne, même modeste, il sera difficile de continuer à avancer sereinement sur un programme d'actions inter-Axes. Il y a nécessité d'avoir une réflexion budgétaire à même de favoriser l'émergence d'initiatives et d'actions interdisciplinaires.
- Il est difficile de mobiliser les personnels et les financements sur des opérations qui sortent de la zone de confort des coeurs d'expertise.
- L'éclatement géographique de l'IP sur trois sites est encore plus handicapant pour le PT.
- Aucun chercheur à temps plein : autre élément particulièrement handicapant pour ce type de recherche.

Opportunités

- Le projet I-SITE CAP 2025.
- Le projet de laboratoire partagé avec la Manufacture Michelin : les thématiques engagées sont par essence interdisciplinaires.
- Faire que le projet de recherche de nouveaux entrants EC ou C soit un projet des actions pluridisciplinaires à part entière.
- Le 5e Axe Thérapies Guidées par l'Image du Projet IP qui ouvre les champs de la Mécanique/Robotique/Imagerie pour le Médical : fort impact sociétal, programmes dédiés des agences de moyens attendus. Ce 5e Axe amènera l'interdisciplinarité entre champs de savoir relevant de domaines disciplinaires différents : Sciences et Technologies et Sciences de la Vie.
- Les tutelles (CNRS) encouragent l'interdisciplinarité, les agences de moyens sont attendues sur les programmes de soutien spécifiques aux projets interdisciplinaires.

Risques

- Difficulté de mener à bien des projets scientifiques en raison du faible taux d'acceptation des projets ANR/européens.
- Réduction des crédits récurrents accordés par les tutelles, du nombre de bourses de thèse MESR, des recrutements d'enseignants-chercheurs.
- Ciblage de la politique de financement régionale, nationale, et européenne vers des activités liées au soutien du secteur industriel et non vers la recherche à risque ou à visibilité de long terme, ce qui est souvent la signature/caractéristique des actions pluridisciplinaires.
- Quid de la reconnaissance des travaux interdisciplinaires sur l'évaluation des carrières des personnels ?

1.2.5.1. Action Machines et Robots Intelligents et Innovants

Personnels

Lounis ADOUANE (ISPR, MCF61, UBP), Omar AIT-AIDER (ISPR, MCF61, UBP), François BERRY (ISPR, MCF61, UBP), Nicolas BOUTON (MMS, MCF60, IFMA), Chedli BOUZGARROU (MMS, MCF60, IFMA), Hélène CHANAL (MMS, MCF60-HDR, IFMA), Frédéric CHAPELLE (MMS, MCF60, IFMA), **Roland CHAPUIS** (ISPR, PR61, UBP), Thierry CHATEAU (ISPR, PR61, UBP), Juan Antonio CORRALES RAMON (ISPR, MCF61, UBP), Jean-Pierre DERUTIN (ISPR, PR61, UBP), Michel DHOME (ISPR, DR CNRS), Emmanuel DUC (MMS, PR60, IFMA), Jean-Christophe FAUROUX (MMS, MCF60, IFMA), Vincent GAGNOL (MMS, MCF60, IFMA), Grigore GOGU (MMS, PR60, IFMA), Philippe MARTINET (ISPR (départ en 2013), PR61, IFMA), Youcef MEZOUAR (ISPR, PR61, IFMA), Sébastien LENGAGNE (ISPR, MCF61, UBP), Maxime LHUILLIER (ISPR, CR CNRS), Jean-Charles QUINTON (ISPR, MCF61, UBP), Eric ROYER (ISPR, MCF61, UBP), **Laurent SABOURIN** (MMS, MCF60-HDR, IFMA), Benoît THUILOTT (ISPR, MCF61, UBP)

Serge Alizon (ISPR, IE CNRS), Nicolas Blanchard (MMS, IE UBP), Laurent Lequière (ISPR, IE CNRS), Laurent Malaterre (ISPR, IE CNRS), François Marmoiton (ISPR, IR CNRS)

Doctorants (*rattachement Axe principal*)

Thèse soutenue (1) : Kevin SUBRIN (Bourse CPER Innov@Pôle, Sept. 2010-Sept. 2013 ; *Axe MMS/MMSI et Axe ISPR/MACCS*)

Thèses en cours (4) : Richard COUSTURIER (Bourse FEDER - Région Auvergne, Juin 2012 - Juin 2015 ; *Axe MS/MMSI*), Seifeddine MEJRI (Bourse LabEx IMobS3, Sept. 2012 - Sept. 2015 ; *Axe MMS/MMSI, MPMS*), Lazher ZAIDI (Bourse EquipEx ROBOTEX - FEDER, Sept. 2012 - Sept. 2015 ; *Axe MMS/MMSI*), Zine Elabidine CHEBAB (Bourse LabEx IMobS3, Sept. 2014 - Sept. 2017 ; *Axe MS/MMSI*)

Collaborateurs administratifs

Vanessa CHAUDRON (UBP), Eliane DE DEA (UBP), Jacqueline GORSE (UBP), Marion LUCAZEAU (UBP)

Contexte

L'Action Machines et Robots Intelligents et Innovants a pour origine un partenariat existant bien avant la création de l'Institut Pascal et qui en a d'ailleurs jeté les bases. Ce partenariat a été formalisé avec la Fédération de Recherche CNRS "TIMS" : fédération pluridisciplinaire centrée sur les Technologies de l'Information, dans le cadre de l'étude de la mobilité (véhicules intelligents, matériaux, mécanismes), de la sûreté de fonctionnement et des communications. Les établissements qui se sont associés étaient l'Université Blaise Pascal (UBP), l'Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA), le CNRS (Département ST2I) et le Cemagref (Département Ecotechnologies et Agro-systèmes). Parmi les quatre laboratoires clermontois impliqués LaMI, LASMEA, LIMOS (Informatique, UBP) et TSCF (Cemagref), les deux premiers constituent aujourd'hui les Axes MMS et ISPR de l'Institut Pascal.

Aujourd'hui, les projets menés dans le cadre de cette action transversale sont décomposés en deux thématiques.

- **Machines et robots**

Les travaux portent sur les machines et les systèmes industriels du futur, afin de proposer des méthodes de production innovantes et optimisées pour les industries mécaniques, mais aussi agro-alimentaire, et la chirurgie. Les grands enjeux scientifiques actuels dans le domaine des systèmes mécaniques complexes tant au niveau national qu'international concernent la réalisation de tâches de plus en plus complexes en environnement de moins en moins structuré dans une société de haute technologie intégrant les aspects environnementaux (agriculture de précision) et sociaux (pénurie de main d'œuvre sur les opérations à forte pénibilité ou dangerosité, aide à la tâche ou à la mobilité). Les verrous technologiques associés se retrouvent dans les domaines d'application suivants : robotique parallèle, robotique médicale, robotique mobile, usinage de forme complexe, manipulation dextre, manipulation d'objets déformables, manipulation multi-bras, traitement des redondances.

S'agissant des machines et des robots, nous cherchons à en améliorer la conception, la mise en œuvre, la maintenance et leur intégration en site de production à partir des données primordiales fournies par l'analyse et la prise en compte du comportement réel. Ceci comprend le développement de nouvelles architectures mécaniques innovantes optimisées vis-à-vis d'une tâche, le développement de nouveaux modèles de commande basés sur l'intégration de capteurs extéroceptifs (vision, force), une conception plus rapide et fiable à partir de composants modulaires intelligents (mécatronique ou robotique), des méthodes permettant une intégration rapide et adaptative dans le système de production.

- Robotique mobile

Ces travaux portent sur la robotique mobile autonome qui voit ses applications se concrétiser aujourd'hui avec notamment l'avènement de robots rondiers (pour la surveillance de zones vastes), ou de robots autonomes en vue de tâches précises (génie civil, minier, agriculture) au sein de flottes ou non. Par ailleurs, on assiste aujourd'hui aussi au développement de la robotique mobile au sein même des manufactures, les critères d'autonomie et de sécurité revêtent une importance encore accrue dans ces contextes très contraints.

D'une manière générale le site clermontois est bien identifié sur l'ensemble de ces thématiques. Les verrous auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui sont d'une part la compréhension des scènes, avec la fusion des données, la localisation, la détection et la reconnaissance des obstacles, la reconstruction de terrain et de cartes ; mais aussi la conception de robots multi-modes dotés d'architectures mécatroniques innovantes et faiblement actionnées, le contrôle/commande réactif des robots mobiles avec l'identification temps réel de paramètres dynamiques (condition d'adhérence, transferts de masse, paramètres dynamiques du robot), les techniques de commande à haute vitesse, et le contrôle de flottes de robots mobiles coopérants en présence d'éléments perturbateurs (glissements), de paramètres variables.

Réalisations

Les machines et robots reconfigurables sont des systèmes mécatroniques mettant en interaction une multitude de phénomènes physiques à différentes échelles (coupe, transferts thermiques, vibrations, moteurs électriques, commande, etc...). Les spécificités des tâches actuelles envisagées (usinage, découpe, manipulation de corps mou, etc...) nécessitent une maîtrise parfaite du comportement et exigent de repousser les limites de leurs performances. Par rapport aux machines-outils, les robots actuels offrent des caractéristiques intéressantes en termes de capacité spatiale, ratio espace de travail/empreinte au sol, accessibilité aux formes complexes pour un coût d'investissement plus faible. Cependant, leur comportement est fortement anisotrope et leurs capacités (cinématique, mécanique, rigidité) évoluent en fonction des sollicitations de la tâche et de la trajectoire. Pour des tâches à fortes sollicitations (usinage, ponçage, etc...) la qualité de réalisation impose une réduction forte de l'espace de travail. De même pour les tâches complexes (découpe, manipulation de corps déformable, etc...) il est nécessaire d'avoir recours à un nombre de degrés de libertés (ddl) important pour améliorer les capacités (cinématique, dextérité, accessibilité, etc...) et à des informations de capteurs extéroceptifs.

La solution développée au sein de l'IP consiste à introduire un ensemble de redondances cinématiques pour améliorer les capacités des cellules (multi-bras, main droite, etc...). La gestion des redondances est associée à la définition d'un ensemble de critères (cinématique, dextérité, rigidité, lié à la tâche, etc...) permettant ainsi une planification optimisée des trajectoires ou une adaptation permanente de celles-ci au travers d'une commande référencée capteur (vision, force, vision/force). Ceci nécessite au préalable l'étude de comportement en service (cinématique, dynamique) des structures afin de proposer de nouveaux modèles adaptés, plus simples, rapides et robustes mais tout aussi fiables pour prédire puis optimiser le comportement attendu.

Le LaMI et le LASMEA regroupés aujourd'hui au sein de l'Institut Pascal ont déjà collaboré au travers de différents projets (CPER Innov@pôle, FUI, ANR, UMT). Dans cette continuité, et s'appuyant sur l'expertise des Axes MMS (thème MMSI) et ISPR, un certain nombre d'avancées ont été réalisées dans l'étude du comportement en service des cellules robotiques et la planification des trajectoires. On notera en particulier :

- Modélisation (géométrique, cinématique), simulation et planification de trajectoire de cellules multi-redondantes.
- Identification, caractérisation et modélisation du comportement en rigidité (statique, dynamique) des robots par métrologie laser (Tracker), identification modale (accéléromètres, capteurs d'efforts intégrés).
- Prédiction des conditions de stabilité en usinage robotisé.
- Nouvelles méthodes d'identification opérationnelle (sous-espace stochastique, ondelettes, etc...) utilisant les excitations de service y compris les perturbations.
- Proposition de nouveaux critères (rigidité, contraintes process) de gestion des redondances pour la planification optimisée de trajectoires (tâches à fortes sollicitations, manipulation d'objet déformable, etc...).
- Développement d'un modèle à 6 ddl permettant l'analyse de l'optimisation naturelle du comportement d'un bras humain lors de la réalisation de tâches complexes (coupe, séparation os/muscle, muscle/muscle)

- Modélisation du comportement de corps déformable et de l'interaction avec préhenseur dextre pour la planification de trajectoire de coupe et la manipulation d'objet déformable.
- Adaptation des trajectoires par commande référencée vision, force, vision/force.
- Définition de guide virtuel basée sur le modèle de déformation de corps déformable.
- Recalage de modèle de corps déformable par reconstruction 3D.
- Franchissement des singularités de type 2.

Ces travaux sont associés au développement d'outils de modélisation et de simulation (Matlab) pour la planification optimisée de trajectoires (usinage, parachèvement, découpe, séparation os/muscle, muscle/muscle, saisie et manipulation d'objet déformable). Ils s'appuient entre autre sur la définition d'une fonction objectif multicritères pondérés permettant d'adapter la planification en fonction des contraintes de la tâche à réaliser, la proposition et le développement de nouveaux modes de commande référencés capteurs (vision, force, vision/force). Ces travaux sont appliqués à différentes tâches concernant l'usinage robotisé, le parachèvement, le désossage de jambon, la séparation muscle/muscle.

La thématique générale de la robotique de production nécessite de confronter les modèles théoriques à l'expérimentation. Les travaux expérimentaux s'appuient sur des moyens techniques important constituant trois plateformes robotiques (CPER Innov@Pôle, EquipEx ROBOTEX) :

- Cellule robotique d'usinage et de parachèvement (robot IRB6660, robot PKM Tricept T606 servis par une table rotative 2 axes Tilting portée par un track linéaire, broches Precise, etc...).
- Cellule multi-bras (2 bras ADEPT Viper S1700D, 2 bras KUKA LWR, main dextre SHADOW Robot Company, etc...).
- Cellule multi-composants (ABB IRB 2400, ADEPT Quattro S650, ADEPT Cobra S600, etc...).

Ces plateformes sont complétées par des moyens d'acquisition (Laser tracer Leica, interphéromètre, platine d'efforts, dynamomètre, amplificateur de charge multi-voies, etc...).

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

- | | |
|-----|--|
| #71 | Redundancy-based optimization approach to optimize robotic cell behaviour |
| #72 | The C ³ Bots project: collaborative cross and carry modile robots |

Projets collaboratifs académiques et Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

L'Action Machines et Robots Intelligents et Innovants est lieu d'échange non seulement entre les acteurs du laboratoire mais aussi entre les acteurs locaux avec lesquels le partenariat est toujours existant, voire amplifié (Irstea (ex Cemagref) et LIMOS en particulier), les acteurs nationaux (IFSTTAR, UTC, INRIA, IRCCyN) et internationaux (Angleterre Sherbrooke Univ. et King's College London, Corée, Japon, Chine notamment).

Par ailleurs, le développement des machines, mécanismes, robots et véhicules innovants a été clairement affiché comme priorité par plusieurs collectivités territoriales au travers des projets régionaux comme l'Axe Innov@Pôle du CPER 2007-2013 et le pôle de compétitivité ViaMéca.

Ces thématiques ont été des éléments clés dans le montage et l'obtention de projets PIA tels que le LabEx IMobS3 (notamment le Défi 1 : Véhicules Intelligents & Machines Spéciales) et le projet EquipEx ROBOTEX. Il en va de même pour le prochain projet I-SITE CAP 2025 Clermont-Auvergne (proposition déposée en 2015) et sur le montage d'un Laboratoire commun avec la manufacture Michelin.

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Nationaux	ANR Arpège	ARMS	C	2011-2014	Système Multi-bras pour la séparation de muscles.
	LabEx IMobS3	ROBDYN	P	2012-2015	Identification et modélisation du comportement dynamique des machines et robots configurables.
	EquipEx ROBOTEX	ROBOTEX	C	2012-2019	Réseau national des plateformes robotiques.
	Chaire d'excellence Région Auvergne	ReForm	C	2011-2014	Flottes reconfigurables de véhicules et de machines autonomes en environnement dynamique et incertain.
Internationaux	FP7	DEXDEB	P	2011-2012	Application of DEXterous hands for DEBoning operation.
	Corée du Sud	BRI	C	2009-2014	Transports intelligents en milieu urbain.

Le transfert de technologie et de partenariat est effectué avec des acteurs locaux (ADIV - UMT Mécarnéo).
Action de transfert : 2MATech (Contrats : ABB/Renault ACI - SAFE Metal ; 2014-215).
Collaboration avec l'IRCCyN de Nantes (identification des rigidités articulaires du robot IBR6660).

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique	Partenaires
Nationaux	FUI	SRDViand	C	2007-2011	Systèmes Robotisés de Découpe de Viande, vise à automatiser les opérations de grosse coupe sur la carcasse de boeuf et le désossage du jambon.	ADIV Institut Technique Agro- Industriel, filières Viandes Entreprises : Kaufler Couedic-Madoré

✓ *Brevets*

(ADIV - UMT Mécarnéo)

Alric M., Sabourin L., Chenille C., Guire G., Subrin K., *Procédé de désossage du jambon et dispositif de contention dudit jambon et installation de mise en œuvre du procédé et d'au moins un dispositif*, FR 1255685, date de dépôt : 18 juin 2012, 30 pages.

Production scientifique

✓ *Communications écrites*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
ACL-Int.		1		1	2	1	5
ACL-Nat.				2		3	5
Chap. OS					1		1
ACTI	1	2	2	3	6	5	19
ACTN	1				1		2

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ *Invitations et attractivité internationales*

Le thème a accueilli deux personnalités étrangères sur de courts contrats de séjour invité du LabEx IMobS3 : Pr. Patrick Paultre (Université de Sherbrooke, Canada - nov. 2013 et 2014, 1 semaine) pour la modélisation du comportement des structures sous charges dynamiques appliquées aux structures des robots ; Pr. Ioan Doroftei (Université Technique "Gh. Asachi" de Iasi, Roumanie - nov., avr. 2013, 2014 et 2015, 1 semaine) sur la cinématique et dynamique des manipulateurs et robots mobiles.

✓ *Prix et Distinctions*

Une communication internationale primée : Outstanding Paper Award 2011, Emerald Literati Network.

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Organisation de la Joint International Conference MTM & Robotics 2012 (Clermont-Fd).

Analyse SWOT

Forces

- Bonne reconnaissance nationale, voire au delà.
- A l'origine de l'implication dans les PIA LabEx IMobS3, EquipEx Robotex et dans le prochain projet I-SITE CAP 2025.
- Des démonstrations réalistes mettant en avant les recherches fondamentales des Axes.
- Une source de collaborations contractuelles.
- Très bonne implication et visibilité sur le site clermontois : vecteur de structuration et d'ouverture vers le monde socio-économique.

Faiblesses

- La thématique commune à l'Axe MMS et ISPR portant sur les "Véhicules" disparaît quasiment aujourd'hui : les interactions sont de plus en plus restreintes. Ces activités sont aujourd'hui plus logiquement partagées avec l'Irstea.

Opportunités

- Le projet I-SITE CAP 2025.
- Le projet de laboratoire sans mur avec la Manufacture Michelin qui pourra potentiellement faire se rattacher le volet robotique mobile.

1.2.5.2. Action Innovations dans les Bioprocédés

Personnels

Yamina ANDRE (PHOTON, MCF28-HDR, UBP), Pierre BONNET (PHOTON, PR63, UBP), Jérôme BRUNET (PHOTON, MCF63, UBP), Dominique CASTELLUCI (PHOTON, IR, UBP), **Jean-François CORNET** (GePEB, PR62, ENSCCF), Catherine CREULY (GePEB, MCF62, UBP), Jérémie DAUCHET (GePEB, MCF62, ENSCCF, depuis septembre 2012), David DUCHEZ (GePEB, IE, UBP), Kofi EDEE (PHOTON, MCF63, UBP), Pierre FONTANILLE (GePEB, MCF65-HDR, UBP), Evelyne GIL (PHOTON, PR28, UBP), Sébastien GIRARD (PHOTON, IE, UBP), Gérard GRANET (PHOTON, PR63, UBP), Philippe MICHAUD (GePEB, PR64, UBP), Amadou NDIAYE (PHOTON, IR CNRS, UBP), Christophe PASQUIER (PHOTON, MCF63, UBP), **Alain PAULY** (PHOTON, PR63, UBP), Guillaume PIERRE (GePEB, MCF64, UBP), Agnès PONS (GePEB, MCF62, UBP), Christelle VARENNE (PHOTON, MCF63-HDR, UBP)

Associés

Maria-Luz RODRIGUEZ-MENDEZ (Prof. Invitée, Juillet 2012)

Doctorants (*rattachement Axe principal*)

Thèses en cours (2) : Mira ABOUD (LabEx IMobS3, Sept. 2012 ; co-direction Axes PHOTON (N2)/GePEB), Zhenning DONG (MESR, Sept. 2013 ; co-encadrement Axes PHOTON (MINAMAT)/GePEB)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Emmanuel BERTRAND (PD, Oct. 2013 - Août 2014), Sébastien DELILE (PD, Oct. 2014 – Février 2015), Amadou NDIAYE (PD, Mai 2012 – Mai 2014)

Collaborateurs administratifs

Françoise BOHAUD (UBP), Béatrice LOISEAU (UBP), Christine TURCAT (UBP)

Contexte

L'idée d'une Action Innovations dans les Bioprocédés, comme d'autres actions du Programme Transversal, est née lors de la création de l'Institut Pascal, en 2012, du constat que de nombreuses innovations scientifiques et techniques existent aux interfaces, et qu'il est donc possible, dans un laboratoire possédant quatre Axes disciplinaires, de mettre en place une recherche pluridisciplinaire originale. Les projets relatifs aux Bioprocédés peuvent être déclinés autour :

- de la capacité à créer de nouvelles compétences scientifiques sur les bioprocédés en intégrant les connaissances fondamentales, notamment en physique, lorsque celles-ci déterminent les performances à l'échelle industrielle ;
- du développement de nouvelles technologies, et/ou de capteurs innovants dans le domaine biologique.

Dans ce cadre, les premières réflexions ont fait émerger un certain nombre d'applications d'intérêts communs : la mise en œuvre de procédés visant à l'optimisation de la production biologique ou bio-inspirée de vecteurs énergétiques renouvelables (hydrogène, méthane, biofuels, syngas, méthanol,...) à partir de déchets ou d'énergie solaire, qui est par ailleurs un point central du Défi 3 du LabEx IMobS3 ; l'élaboration et l'optimisation de capteurs ou structures chimiques et biologiques permettant en particulier le contrôle avancé de cultures en bioréacteurs ou le développement d'applications biotechnologiques innovantes.

Les problématiques affichées sont hautement pluridisciplinaires et nécessitent la mise en œuvre des forces vives de l'Institut Pascal autour des domaines fondamentaux que sont la biologie, la chimie, les mathématiques et la physique, ou plus appliqués comme la science des matériaux, le génie des procédés, l'électronique et l'électromagnétisme. Au cours des trois dernières années, les recherches se sont finalement focalisées autour de trois thèmes (qui ont donné lieu à quatre projets), mettant en relation essentiellement des personnels des Axes GePEB et PHOTON (dans une moindre mesure MMS), et qui peuvent être regroupés sous les intitulés suivants :

- développement de capteurs innovants pour la conduite des bioprocédés (1 projet) ;
- interactions ondes électromagnétiques / vivant (2 projets) ;
- nanofils et biotechnologie (1 projet).

La recherche de solutions technologiques visant à produire des sources d'énergie par des bioprocédés à partir de déchets ou d'eau, CO₂ et énergie solaire est devenue une problématique clé de l'ensemble des pays développés. La France a choisi de s'inscrire de manière très volontariste dans ce cadre politique. A

travers ce projet transverse, l'Institut Pascal propose des stratégies s'appuyant sur des travaux reconnus par l'ANR (ANR Bioénergie 2005 PhotoBioH2, 2008 ANABIO-H2 et 2010 Biosolis, FUI BAMI 2010, ANR Bioénergie 2010 ALGO-H2, ANR Algoraffinerie 2010, ANR 2010 Tech'Biophys) mais aussi sur des projets inspirés du Grenelle de l'Environnement et appuyés par des industriels de l'énergie (Cluster Méthanisation). Des solutions technologiques à base de capteurs chimiques et biologiques permettront de piloter les bioréacteurs mis en jeu. S'appuyant sur des projets retenus par l'ANR (ANR POLL-CAP 2006, ANR CAPBTX 2010 - voir Axe PHOTON/MINAMAT), l'Institut Pascal propose des solutions totalement originales dans ce domaine.

Par ailleurs, la conception de nouvelles générations de bio-puces, permettant la détection rapide, hautement spécifique et automatisée de molécules cibles, est un domaine en pleine évolution en biotechnologie pour des applications analytiques notamment dans le domaine médical. La complémentarité entre les Axes GePEB et PHOTON de l'Institut devrait permettre un travail intéressant dans ce thème de recherche.

Enfin, la problématique de l'interaction des rayonnements électromagnétiques avec le vivant peut se décliner au moins à deux niveaux suivant le domaine fréquentiel considéré. Tout d'abord, le calcul prédictif des propriétés radiatives de micro-organismes photosynthétiques (sections efficaces d'absorption et de diffusion, fonction de phase), qui relève d'une problématique de l'électromagnétisme aujourd'hui bien identifiée et transversale à de nombreuses disciplines, est un enjeu capital pour le développement de modèles de connaissance des procédés biologiques ou bio-inspirés mettant en œuvre l'ingénierie de la photosynthèse naturelle ou artificielle afin de produire des vecteurs énergétiques stockables à partir d'énergie solaire et d'eau. En complément de travaux déjà engagés au sein de l'Axe GePEB utilisant la formulation intégrale de l'approximation de Schiff et sa mise en œuvre par méthode de Monte Carlo dans un contexte collaboratif national fort (PIE et PEPs CNRS, Axe Photoprocédés de FédEsol), les outils numériques spécifiques et innovants développés au sein de l'Axe PHOTON pour simuler des réseaux pourront être mobilisés dans la recherche de solutions de références pour des formes géométriques simples dans un premier temps.

L'étude de l'influence des rayonnements électromagnétiques hautes fréquences sur les cellules vivantes, soit pour intensifier les procédés, soit pour comprendre le rôle de ces rayonnements sur le développement de maladies, est également un sujet original et prometteur aux nombreuses applications sociétales et environnementales. Dans le cadre de ce projet transverse, sur la base de résultats récents issus de projets financés par l'ANR (ANR CISSSI), l'Institut Pascal propose de développer des outils expérimentaux et théoriques totalement originaux visant à étudier les interactions des champs électromagnétiques sur les mécanismes cellulaires. La synergie entre les spécialistes du Génie des Bioprocédés de l'Axe GePEB, les biologistes et les spécialistes de la Compatibilité ElectroMagnétique ou de l'électromagnétisme numérique de l'Axe PHOTON constitue un point particulièrement fort de l'Institut Pascal.

Réalisations

Les *Innovations dans les Bioprocédés* sont déclinées en quatre projets :

- [Capteurs innovants en ligne pour les bioréacteurs](#)

Le partenariat scientifique entre l'Axe GePEB et l'Axe PHOTON s'intéresse au suivi et au pilotage de processus biologiques au moyen de capteurs chimiques innovants. En effet, l'Axe GePEB développe de nombreux thèmes de recherche impliquant la mise en culture d'une grande diversité de micro-organismes (bactéries, levures, champignons ou micro-algues) d'intérêt industriel. Les applications visées sont diverses, mais ces dernières années, un grand nombre de sujets se sont orientés vers la production de vecteurs énergétiques renouvelables (utilisant des déchets ou de l'énergie solaire). La culture en bioréacteur constitue un outil idéal pour imposer et contrôler l'environnement des cellules vivantes, permettant d'optimiser à terme le procédé industriel considéré. De ce point de vue, l'Axe GePEB possède des compétences reconnues, aussi bien sur le plan expérimental que théorique, et a développé une méthodologie analytique basée, chaque fois que cela est possible, sur la mesure directe de vitesses réactionnelles en ligne. Les résultats ainsi générés sont d'un apport considérable pour la modélisation, outil indispensable pour la simulation, la conception, l'optimisation du bioréacteur ; mais également pour la commande optimale du procédé. Ainsi, le suivi en temps réel de constituants clé liquides ou gazeux au sein des bioréacteurs constitue un objectif de prime importance puisqu'il permet d'appréhender de façon pertinente la nature exacte des phénomènes physiques ou biologiques mis en jeu, notamment par la validation des cinétiques et des stœchiométries. De plus, cet outil analytique permet d'obtenir des informations en temps réel qui s'avèrent indispensables pour contrôler le bioréacteur de façon optimale. Aujourd'hui ces mesures sont essentiellement effectuées au moyen d'analyseurs de gaz (spécifiques, en ligne) ainsi que par des chromatographes en phase gazeuse (sur prélèvements séquentiels) ou à l'aide de

sondes à gaz dissous. Pour de nombreux constituants d'intérêt, gazeux ou liquides, il n'existe cependant toujours pas de véritable technologie de mesure en ligne, ce qui pose problème pour la modélisation ou la commande du procédé, obligeant dans ce cas les automaticiens à développer des capteurs logiciels.

L'apport de capteurs conduisant à une information sélective en temps réel relatif à divers composés gazeux ou liquides permettra à terme de proposer de lever un verrou technologique limitant le développement de structures de production de bioénergies issue des bioréacteurs. Les données métrologiques recueillies permettront alors la modélisation, la régulation en temps réel des processus biologiques ayant lieu au sein du réacteur.

Après une phase nécessaire de concertation sur le choix du ou des constituants à analyser prioritairement, l'Axe PHOTON (thème MINAMAT) a engagé des études concernant le design de microsystèmes capteurs de gaz originaux destinés à la détection de composés organiques volatils (COV) fréquemment rencontrés dans les bioprocédés : les acides gras volatils (AGV) dont la métrologie nécessite actuellement l'utilisation quasi-exclusive de procédés chromatographiques. Ces composés, principalement constitués de l'acide acétique ($C_2H_4O_2$), l'acide propionique ($C_3H_6O_2$) et de l'acide butyrique ($C_4H_8O_2$), sont présents dans presque tous les procédés biologiques de fermentation. Ils se retrouvent, en particulier, au sein des réacteurs mis en jeu dans les actuels projets impliquant la production de bio-hydrogène issu de déchets, dans la conversion de ces AGV en lipides microbiens précurseurs de biocarburants, mais également dans les processus de méthanisation.

Sous l'impulsion du professeur invitée, Maria-Luz RODRIGUEZ-MENDEZ (Université de VALLADOLID – Espagne), spécialiste internationalement reconnue des technologies des nez et langues électroniques, nous avons choisi de travailler sur la détection des AGV dans le milieu liquide du bioréacteur. En effet la présence de ces composés constitue la signature la plus fidèle de l'évolution du métabolisme en temps réel. Ainsi, après réflexion, notre stratégie de recherche nous a conduit à privilégier la détection des AGV au sein du milieu liquide plutôt qu'en phase gazeuse, afin d'obtenir des réponses capteurs permettant de suivre en temps réel les concentrations des espèces dès leur apparition au sein du bioréacteur. Nous avons engagé des travaux sur la base de capteurs électrochimiques possédant des électrodes de travail modifiées et dont la nature est pertinente en regard des espèces AGV que nous détectons (l'acétate en premier lieu comme composé caractéristique majoritaire). Les résultats que nous avons obtenus sur des milieux synthétiques montrent tout l'intérêt de nos structures réalisées à base d'électrodes modifiées à partir de dépôts de macrocycles par électrodépositions. Les travaux vont être poursuivis pour tester d'une part les interférences possibles au sein de milieux de culture réels, et d'autre part, pour étendre la sélectivité des capteurs aux autres AGV.

- [Interaction Ondes Electromagnétiques / Vivant dans le domaine hautes fréquences](#)

Ce projet pluridisciplinaire s'appuie sur la démonstration récente par l'une des équipes de l'Axe PHOTON de l'existence d'un lien formel entre une réponse biologique et l'exposition à des champs électromagnétiques haute fréquence (CEM HF) de faible amplitude (900 MHz ; 8V/m d'amplitude) chez la tomate. Ces résultats encourageants, mais difficiles à quantifier sur les plans métabolique et physiologique laissent penser qu'il est pertinent d'approfondir la connaissance des aspects de l'interaction modèle vivant / rayonnements non ionisants à partir de stimulations en Chambre Réverbérante à Brassage de Modes (CRBM), vraisemblablement sur des modèles biologiques plus simples. La CRBM est une structure de grandes dimensions (8,40 m x 6,70 m x 3,50 m) qui permet de générer un champ électromagnétique statistiquement homogène et isotrope sur une révolution de brasseur (équipement mécanique en rotation autour d'un axe vertical). Nous avons récemment démontré les avantages de la CRBM pour des expérimentations en bio-électromagnétisme : l'uniformité du champ électromagnétique est garantie au voisinage des modèles biologiques contrairement aux systèmes d'exposition de type "onde plane". Ces conditions permettent d'espérer des interprétations physiologiques facilitées quant aux effets des CEM HF sur différents organismes et à en décrypter les mécanismes.

Peu de laboratoires maîtrisent à la fois les techniques de culture de microorganismes, de compréhension du métabolisme cellulaire, de production de trains d'OEM dans des milieux denses et de simulation de leur répartition. Il y a donc une grande opportunité à saisir dans ce domaine pour l'Institut Pascal. Ces travaux peuvent en effet s'appuyer sur les compétences de l'équipe CEM qui travaille depuis plusieurs années sur l'impact des OEM sur le vivant et sur les compétences de l'Axe GePEB sur la culture de microorganismes aérobies, anaérobies et photosynthétiques. Il s'agit d'utiliser des OEM Haute Fréquence, dans la gamme des effets "non thermiques", sur les microorganismes. Ceci est déterminé au départ par les limites d'exposition aux OEM, limites au-delà desquelles les effets observés des OEM sont dus à un échauffement du modèle biologique (l'effet des OEM est de générer des agitations moléculaires et donc une augmentation de température). L'étude porte sur les effets des OEM HF sur le comportement de microorganismes unicellulaires en croissance. Il s'agit de travailler dans des conditions contrôlées de OEM (ou au moins connues). L'objectif général est de situer l'effet des OEM HF sur l'énergétique cellulaire, sur différents

modèles bactériens ou eucaryotes et sur la possibilité d'amplifier la production de métabolites intéressants en tant que biofuels.

De nombreux laboratoires et centres de recherche industriels travaillent au niveau mondial sur l'amplification des procédés de culture de microorganismes pour la production de métabolites. La production de biofuels liquides (tel que l'éthanol ou autres biocarburants) et gazeux (par exemple hydrogène) nécessite des unités de production de grande taille. Il est donc absolument nécessaire d'intensifier les procédés de production (augmentation des rendements de conversion et des productivités). L'utilisation d'ondes électromagnétiques (OEM) pour modifier les orientations cellulaires au niveau métabolique, en particulier en produisant un stress oxydatif pour modifier la sécrétion et/ou l'excrétion de métabolites énergétiques, est en plein développement. Or il est connu que le stress oxydatif modifie très significativement la synthèse de métabolites réduits. Ceux-ci sont donc potentiellement oxydables en tant que carburants, l'exemple type étant l'éthanol. Donc perturber une culture de microorganismes par des OEM revient à maîtriser un stress oxydatif et à déclencher une cascade métabolique conduisant à une surproduction de produits du métabolisme intéressants en tant que biocarburants.

Cette thématique transversale de l'IP définit un sujet très large que nous proposons d'aborder progressivement en travaillant d'abord sur des cultures contrôlées de *Saccharomyces cerevisiae*. C'est en effet le microorganisme le plus utilisé industriellement. C'est aussi celui sur lequel on peut le mieux comparer les résultats obtenus avec des conditions de culture classiques. C'est enfin le microorganisme utilisé industriellement pour produire du (bio)éthanol. Le fait de pouvoir et de savoir travailler en conditions contrôlées (pour les apports en substrats, la disponibilité de l'O₂ et pour la mesure des vitesses de respiration) doit permettre des interprétations rapides de l'effet des OEM sur le métabolisme. Cette étape de l'étude est conduite dans des conditions d'exposition et de contrôle des variables de la culture bien définies. Les croissances seront essentiellement suivies par l'augmentation de la densité optique, la mesure des vitesses de respiration et éventuellement à partir d'analyses protéomiques et métaboliques. L'ensemble des données biologiques sera mis en commun pour produire une vision intégrée de l'interaction du champ électromagnétique sur les modèles vivants, en essayant de suivre, dans la mesure du possible, la piste des mécanismes cellulaires de production d'énergie et de métabolites d'intérêt.

Néanmoins, l'étude approfondie de l'effet des OEM sur des cellules vivantes en suspension dans un milieu aqueux nécessite un dispositif expérimental adapté et parfaitement caractérisé. Il doit permettre de répondre aux contraintes techniques à savoir la production d'un champ électromagnétique maîtrisé venant impacter une culture de microorganismes réalisée en conditions contrôlées malgré l'impossibilité d'introduire les éléments de régulation directement dans la chambre d'exposition. Le développement d'un tel système a été réalisé à partir de 2012. Il entraîne cependant 3 limitations majeures. Le temps d'exposition est restreint par rapport au temps total de la culture (25% environ dans la présente étude). L'intensité du champ électromagnétique réellement transmis aux levures subit une perte importante par rapport à l'intensité incidente (30% environ en onde plane à 900 MHz, moins de 20% à 2,4GHz). Elle est liée au franchissement successif des différents matériaux constituant le bioréacteur et plus particulièrement à la conductivité du milieu de culture liquide mesurée à l'aide du Diline. Enfin, l'impossibilité de mesurer expérimentalement l'intensité du champ électromagnétique régnant réellement dans le réacteur en raison de la modification de l'environnement électromagnétique par la sonde elle-même implique le recours systématique aux simulations numériques, ce qui représente un travail très conséquent. Ceci souligne la nécessité de disposer de sondes qui fonctionnent en milieu liquide sans perturber l'environnement électromagnétique général.

Finalement, les premiers résultats obtenus sur *Saccharomyces cerevisiae* ont montré que l'utilisation de la chambre d'exposition dans sa configuration réverbérante par rapport à sa configuration anéchoïque s'avérait particulièrement utile puisqu'elle permettait d'atteindre une intensité de champ électromagnétique sensiblement plus importante dans le réacteur secondaire. Elle permet surtout l'obtention d'un champ beaucoup plus homogène par rapport à la configuration anéchoïque. Néanmoins, aucun effet biologique n'a pour le moment été observé dans le cadre de ces résultats préliminaires aux fréquences de 900 MHz et 2.4 GHz avec une intensité émise par l'antenne d'environ 170V.m⁻¹. Des investigations complémentaires devront être menées afin de déterminer si l'absence d'effet biologique observé est associée à un rôle "protecteur" du milieu de culture liquide limitant considérablement le niveau d'exposition des cellules aux ondes ou à l'absence d'interaction des champs électromagnétiques hautes fréquences étudiés avec le métabolisme de *Saccharomyces cerevisiae*. Une autre perspective serait d'augmenter le champ électromagnétique en utilisant une cellule TEM ouverte et de simuler les valeurs du DAS (débit spécifique d'absorption).

- Interaction Ondes Electromagnétiques / Vivant dans le domaine optique ; calcul des propriétés radiatives de micro-organismes photosynthétiques

La production de carburants chimiques à partir seulement d'eau (hydrogène) ou de CO₂ (biofuels, syngas, méthanol,...) et d'énergie solaire est un enjeu majeur pour l'humanité à l'horizon de l'épuisement des énergies fossiles avant la fin de ce siècle. Lorsque ces biocarburants sont produits par ingénierie de la photosynthèse naturelle, on utilise des micro-organismes photosynthétiques au sein de photobioréacteurs qui devront un jour fonctionner à grande échelle. Dès lors, il existe un enjeu considérable concernant la conception et l'optimisation de ces procédés industriels car, comme tout procédé solaire, ils sont (ou seront) en compétition vis-à-vis des surfaces de captation avec les autres procédés solaires et l'agriculture traditionnelle. Ainsi, en conditions naturelles ou en agriculture intensive, la photosynthèse présente un rendement compris entre 0,1 et 0,5% qu'il est possible d'amener à 2% en photobioréacteurs à captation directe du soleil (les technologies aujourd'hui utilisées ou en cours d'optimisation). Il est possible d'atteindre la barre fatidique des 10%, voire d'envisager 20% en couplant les principes de la dilution et de l'hybridation des photobioréacteurs tels que nous le faisons dans les prototypes développés à l'Institut Pascal. Ces concepts très innovants nécessitent pour leur conception et optimisation de travailler à partir de modèles de connaissance robustes et génériques multi-échelles, à paramètres réifiés. A la plus petite échelle contrôlant le procédé, il est nécessaire de déterminer de façon prédictive (modèle ab initio) les propriétés radiatives (sections efficaces d'absorption et de diffusion ; fonction de phase) des micro-organismes qui permettront de résoudre à l'échelle méso l'équation de transport des photons au sein du réacteur, à la base de tout modèle de connaissance. Le problème d'électromagnétisme généré, très bien identifié dans de nombreuses communautés pluridisciplinaires, demeure un problème non résolu de la physique pour des paramètres de taille compris entre 10 et 200 qui sont ceux-là mêmes que l'on rencontre dans le monde des microalgues. En particulier, les formes et elongations des microalgues étant très variées, elles rendent l'approximation en sphère équivalente (largement pratiquée dans de nombreuses communautés) totalement inopérante. Ces conditions (paramètre de taille, forme, elongation) font que la mise en œuvre informatique de solutions rigoureuses diverge à cause de problèmes de précision ou échoue à cause de la capacité mémoire insuffisante (selon les approches choisies parmi une vingtaine de méthodes référencées). On a donc besoin soit de développer des approximations pertinentes rendant les calculs possibles, soit d'améliorer les méthodes rigoureuses existantes dans nos conditions d'applications particulières, permettant d'espérer repousser les limites en paramètre de taille et elongation, dans le domaine visé où l'optique géométrique ne fournit pas d'approximation de qualité suffisante. Enfin, il est également nécessaire de progresser sur les méthodes expérimentales permettant de valider tous les calculs précédents envisagés.

Concernant tout d'abord le développement d'approximations efficaces, ce travail est mené depuis plusieurs années au sein de l'Axe GePEB et ce poursuivra dans l'avenir. Compte tenu du faible contraste d'indice entre les microalgues et leur environnement aqueux (soft particles), il est possible d'utiliser des approximations sous forme d'équations d'onde scalaires telle que l'approximation de Schiff que nous utilisons pour obtenir les propriétés radiatives de particules de formes de plus en plus complexes. Ces activités seront décrites dans la partie dédiée à l'Axe GePEB.

Le travail qui a été mené au sein de ce programme transversal, impliquant GePEB et PHOTON, a consisté à essayer d'adapter à un problème 3D avec prise de moyennes d'orientations, les méthodes numériques optimisées et développées depuis de nombreuses années par l'Axe PHOTON pour simuler des problèmes 2D. Dans ces méthodes, les structures sont approchées par des empilements de couches ce qui revient à représenter leur profil par des marches d'escalier. L'avantage est que l'on peut résoudre chaque couche par une méthode modale. On obtient ainsi des algorithmes a priori valables pour n'importe quelle particule y compris celles qui ont des rapports de forme importants. L'expertise de l'Axe PHOTON porte sur la façon optimale de décrire la structure afin de réduire le volume des calculs. Le code issu de ces travaux est à l'état de l'art mondial et il existe de nombreuses pistes-numériques ou conceptuelles- pour l'améliorer.

Les deux méthodes précédentes devant être validées pour des paramètres de taille et elongation où les méthodes traditionnelles de référence échouent, il est également important de se doter de résultats expérimentaux pour comparer avec les calculs théoriques. Ce point a également été initié avec un partenariat incluant l'Institut Fresnel à Marseille et le CETHIL à Lyon. En effet, devant l'extrême difficulté pour obtenir des informations expérimentales dans le domaine optique, à l'échelle du micro-organisme (il n'existe qu'un seul spécialiste mondial reconnu dans ce domaine avec qui nous avons des collaborations, L. Pilon à UCLA), nous nous sommes orientés vers des validations analogiques dans le domaine micro-onde, utilisant la chambre anéchoïque et le savoir faire de l'équipe HIPE de l'Institut Fresnel (unique en Europe). Les résultats préliminaires obtenus dans ce contexte semblent montrer la pertinence des approches présentées ci-dessus.

- Biocapteurs / Biopiles et nanofils

Au sein de l'Institut Pascal (Axe PHOTON, thème MINAMAT), des nanofils de GaAs d'une longueur variant de 40 μm à 100 μm pour un diamètre constant de 100 nm sont synthétisés de façon contrôlée par VLS-HVPE (Vapour Liquid Solid - Hydride Vapour Phase Epitaxy) avec un niveau de densité de 10^6 cm^{-2} . La physique de la synthèse par HVPE montre que la longueur des nanofils est proportionnelle au temps de croissance, sans variation de diamètre des nanofils. Des longueurs de l'ordre du millimètre pourront être atteintes en moins de deux heures de procédé. L'Institut Pascal est l'unique laboratoire français développant le procédé HVPE pour tous les semiconducteurs III-V et GaN, lequel est le seul pouvant conduire à la synthèse de très longs (>100 μm) nanofils III-V à diamètre constant. L'Institut est également le lieu de rassemblement des expertises en Matériaux pour l'Electronique et Matériaux Biologiques. En conséquence, il nous a semblé essentiel de porter une action pluridisciplinaire à vocation des biotechnologies, autour de la fonctionnalisation biochimique de nanofils semiconducteurs de type III-V à forte mobilité électronique en vue de réaliser des bio-puces. L'objectif est d'obtenir des supports susceptibles de détecter des biomolécules et/ou des particules biologiques (virus, microorganismes, ...) avec un haut niveau de sensibilité et de spécificité par mesure de faibles variations de conductance suite à l'interaction du récepteur biologique immobilisé avec sa cible moléculaire.

A partir de cet objectif initial, de 2011 à 2013, des premières expériences impliquant les Axes PHOTON et GePEB se sont intéressées à la colonisation de supports fonctionnalisés avec des nanofils par des biomasses bactériennes. Les résultats obtenus ont montré qu'une souche modèle (*Leuconostoc mesenteroides*) était capable d'adhérer et de former des biofilms à la surface de supports saphir et GaAs, fonctionnalisés par des nanofils GaN et GaAs. A ce jour un premier prototype de biocapteur est en cours de tests et différentes solutions pour réaliser des contacts électriques sur les substrats recouverts de réseaux de nanofils sont explorées. A très court terme, le screening systématique de la réponse du biocapteur sera étudié afin d'optimiser les conditions de dépôt et de greffage ainsi que la stabilité des constituants des capteurs. Des mesures seront réalisées par voie électrochimique via des techniques de voltamétrie cyclique et de spectroscopie d'impédance électrochimique dans un milieu abiotique afin de placer le capteur dans les conditions les plus proches possibles des conditions biologiques visées pour son utilisation. Une étude comparative dans des conditions identiques de pH, de température et force ionique le biocapteur constitué du réseau de nanofils III-V pour différentes conditions de dopage, permettra de trouver le meilleur compromis, i.e., dopage et/ou fonctionnalisation. La validation du capteur sera réalisée dans une solution biologique contenant des microorganismes électroactifs capables de transférer des électrons par contact surfacique. Cette preuve de concept ouvrira de nouvelles perspectives d'applications en bioélectronique. Un prototype de biopile à combustible micobactérienne (PACM) est d'ores et déjà à l'étude à l'IP. Rappelons que les biopiles font partie des technologies renouvelables émergentes permettant de valoriser les déchets organiques. Et qu'actuellement les systèmes développés utilisent principalement des électrodes en graphite mais très peu de groupes explorent la faisabilité de PACM à base de nanofils semiconducteurs III-V malgré des propriétés électroniques et optiques uniques liées à leur gap direct.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#73	Detection of acetic acid using electrochemically modified electrodes based on metallophthalocyanines and porphyrins derivatives
#74	Bioprocesses intensification with high frequency electromagnetic fields
#75	The aperiodic Fourier modal method for computing micro-organisms cross sections

Production scientifique

Les projets de l'Action Innovations dans les Bioprocédés du Programme Transversal sont nés avec l'Institut Pascal au 1er janvier 2012. Les phases d'initiation et de mise en place, ainsi que l'obtention/la délivrance des moyens et crédits nécessaires via le LabEx IMobS3 (Défi 3) a porté le démarrage effectif des projets de l'Action à 2013. On juge donc ici deux ans de travail sur des sujets qui par nature prennent beaucoup plus de temps à être opérationnels que des recherches purement disciplinaires. Les travaux ont été communiqués en revues et conférences (liste exhaustive en Annexe 6 (Annexes Institut Pascal)).

✓ *Communications écrites*

- 4 ACL : J. Opt. Soc. Am. A, Electrochimica Acta, Journal of Sensors.
- 2 ACTI
- 1 ACTN

- ✓ *Communications orales*
- 1 COM
- 2 AFF

Collaborations nationales et internationales

Les projets ont été financés via le Défi 3 "Procédés de Production d'Énergie pour la Mobilité" du LabEx IMobS3 sur les Actions "BioEM" et "Bioenergy Production Processes". A ce titre, des ressources humaines ont été fléchées sur les projets (1 thèse et 3 post doc) et à l'international, une collaboration a été initiée avec le groupe du Professeur M.L. Rodriguez-Mendez (Univ. Valladolid - séjour invité, 2012) pour le développement de capteurs AGV en milieu liquide.

On rappelle ici les partenariats avec l'Institut Fresnel (Marseille), le CETHIL (Lyon), l'UCLA.

La contractualisation 2017-2021 de l'Institut Pascal devra accompagner les projets aux interfaces disciplinaires 62/64/65/63/28 vers la pérennisation avec agences de moyens et l'inscription en réseaux de collaboration nationaux, en particulier lorsque les objets applicatifs visés nécessitent des technologies et expertises externes au laboratoire /absentes du laboratoire.

Analyse SWOT

Forces

- L'innovation en SPI au XXI^{ème} siècle viendra entre autres de la capacité à intégrer les sciences fondamentales dans la production de connaissances scientifiques et les développements technologiques qui en résultent. Cela représente une forme réussie et élaborée de pluridisciplinarité et c'est une vraie chance de pouvoir la réaliser au sein du même laboratoire. Notamment, concernant les bioprocédés, de nombreuses étapes limitantes relèvent de la physique et il existe un potentiel énorme sur le développement de technologies à l'interface processus biologiques / physique fondamentale qui peut s'exprimer au sein des actions pluridisciplinaires de l'IP.
- Originalité du projet dans le contexte de la production d'énergie via un bioréacteur.

Faiblesses

- Activité totalement nouvelle et initiée par ce Programme Transversal de l'IP.
- Temps de démarrage important (environ 12 mois) du fait de la nécessaire adaptation des personnels et de la mise en place des stratégies scientifiques sur les problématiques associées.

Opportunités

- Dégager une plus-value scientifique et technique sur des sujets aux frontières, là où se gagneront beaucoup d'innovations dans le futur.
- Résultats obtenus très prometteurs qui nous engageant à poursuivre.

Risques

Le risque que nous avons pris en nous engageant dans ce projet reposait sur le manque d'expérience originelle des équipes associées au projet. Les résultats obtenus ont montré que nous avons pris la bonne stratégie pour se confronter aux difficultés.

1.2.5.3. Action Méthodes Probabilistes

Personnels

Pierre BONNET (PHOTON, PR63, UBP), Jean-Marc BOURINET (MMS, MCF60, IFMA), Philippe BRESSOLETTE (MMS, MCF60, UBP), Alaa CHATEAUNEUF (MMS, PR60, UBP), **Michel FOGLI** (MMS, PR60, UBP), Jean-Pierre FONTAINE (GePEB, PR62, UBP), Sébastien LALLECHERE (PHOTON, MCF63, UBP), Christophe VIAL (GePEB, PR62, UBP)

Doctorants (*rattachement Axe principal*)

Thèses en cours (3) : Amina AISSANI (MESR, Oct. 2012 ; Axe MMS/MPMS), Attibaud KOUASSI (MESR, Oct. 2012 ; co-direction Axe MMS/MPMS-PHOTON/CEM), Walid BELAZI (CG03, Oct. 2014 ; Axe MMS/MS)

Collaborateurs administratifs

Françoise CIALDELLA (UBP), Jacqueline GORSE (UBP), Béatrice LOISEAU (UBP), Christine TURCAT (UBP)

Contexte

Il est bien connu que tout modèle mathématique représentatif d'un phénomène quelconque (mécanique, physique, biologique, chimique, économique, ...) est nécessairement entaché d'aléa, du fait notamment de l'incertitude affectant la connaissance de ses paramètres (endogènes et exogènes) et de l'incertitude de modélisation elle-même. Or, comme le montrerait une analyse fiabiliste, vouloir étudier un tel phénomène à travers sa seule représentation mathématique déterministe en faisant abstraction de cet aspect aléatoire est non seulement irréaliste, mais peut dans certains cas se révéler très dangereux.

Ce constat, ajouté au fait que beaucoup de chercheurs de l'Institut Pascal élaborent des modèles, ou en sont utilisateurs, fut à l'origine de l'idée de mettre en place au sein du laboratoire un groupe de réflexion autour de ces aspects stochastiques. Cependant, vouloir prendre en compte la réalité de l'incertain dans la construction de modèles et dans l'analyse de leurs sorties n'est pas chose aisée car cette démarche suppose de solides connaissances en modélisation stochastique et en théorie et calcul des probabilités.

Or, il se trouve que parmi les acteurs de la thématique MPMS (Mécanique Probabiliste des Matériaux et des Structures) de l'Axe MMS de l'Institut Pascal, certains ont consacré une grande partie, voire la totalité de leurs recherches à la modélisation et aux calculs probabilistes, et acquis dans ces domaines une expertise nationalement et internationalement reconnue. D'où l'idée de transformer le groupe de réflexion initialement prévu en une "action" du Programme Transversal, au sein de laquelle ces spécialistes pourraient mettre leurs compétences au service des chercheurs des autres Axes de l'Institut Pascal confrontés à des problèmes comportant des aspects stochastiques et à la résolution desquels ils n'étaient pas (ou qu'incomplètement) formés. Cette Action, créée début 2012, fut appelée "Méthodes Probabilistes". Six opérations, ciblées sur des problématiques identifiées dans les Axes PHOTON, ISPR et GePEB, y furent programmées, témoignant de l'intérêt qu'elle suscita au sein du laboratoire :

- l'opération "Systèmes photo-réactifs", impliquant les Axes MMS et GePEB,
- l'opération "Milieux dispersés", impliquant les Axes MMS et GePEB,
- l'opération "Transfert couplé eau-solutés" impliquant les Axes MMS et GePEB,
- l'opération "Robotique, vision" impliquant les Axes MMS et ISPR,
- l'opération "Compatibilité électromagnétique" impliquant les Axes MMS et PHOTON,
- l'opération "Problème spectral quantique" impliquant les Axes MMS et PHOTON.

Malheureusement, par manque de moyens financiers et surtout humains (doctorants, post-docs), seule l'opération "Compatibilité électromagnétique" put être activée, suivie peu de temps après par deux autres opérations ne figurant pas dans la liste originale : l'une ciblée sur la modélisation mécano-probabiliste d'un essai de compression sur aliment, l'autre sur l'optimisation fiabiliste de la performance énergétique d'un bâtiment, impliquant toutes deux les Axes MMS et GePEB.

Comme le montre le bilan présenté ci-après, ces trois collaborations inter-axes sont riches de résultats positifs : (1) les problèmes probabilistes et fiabilistes inhérents à chaque opération ont été rigoureusement posés et résolus, (2) les méthodologies et méthodes développées pour leur traitement ont fait l'objet d'un nombre significatif de publications et communications scientifiques dans des revues et congrès internationaux sélectifs, et enfin (3) des collaborations nationales et internationales ont vu le jour ou se sont renforcées à l'occasion de ces travaux. De plus, la synergie qu'elles ont créée entre les couples d'Axes concernés est une contribution manifeste à l'effet structurant recherché. A la lueur de ces aspects positifs et modulo une dotation appropriée en moyens humains et financiers dédiés, il est logique de penser que le

rapprochement des Axes PHOTON, ISPR et GePEB de la composante "méthodes probabilistes" de l'Axe MMS s'intensifiera dans le prochain quinquennat.

Réalisations

- Modélisation mécano-probabiliste d'un essai de compression sur aliment

Le sujet, associant les Axes GePEB et MMS de l'Institut Pascal, porte sur l'étude de l'influence de la variabilité (importante) constatée sur les aliments industriels, aussi bien en termes de géométrie que de caractéristiques mécaniques, l'application portant sur des croquettes pour animaux (chats). Pour cela, deux aspects ont été développés : d'une part la modélisation mécanique (par éléments finis) d'un essai de compression sur croquettes alimentaires, prenant en compte l'endommagement de l'échantillon et, d'autre part, l'étude de la sensibilité probabiliste du modèle aux incertitudes sur les données d'entrée (géométriques et mécaniques), dont les caractéristiques statistiques ont été estimées à partir de résultats d'essais réalisés à cette occasion. Le modèle a ensuite été utilisé pour mettre en œuvre des méthodes stochastiques d'analyse qui, combinées, ont permis d'une part d'identifier les influences respectives des paramètres d'entrée, et d'autre part de caractériser la variabilité des grandeurs de sortie.

Ainsi, l'application de la méthode de Morris a permis d'effectuer une analyse de sensibilité qualitative du modèle à ces variables, c'est-à-dire de les hiérarchiser suivant leur influence sur les grandeurs d'intérêt en sortie. Le faible coût en temps de calculs de cette méthode a permis de tirer profit des résultats pour sélectionner les variables les plus influentes sur la sortie du modèle et mettre ensuite en œuvre des méthodes plus coûteuses. L'identification des lois et des paramètres des variables de sortie du modèle a été effectuée grâce à l'application de la collocation stochastique. L'estimation de la surface de réponse du modèle ainsi créée, a été utilisée comme modèle analytique d'évaluation pour des simulations de Monte-Carlo, afin de déterminer les distributions des grandeurs de sortie. Afin de mettre en évidence les nombreuses possibilités qu'offrent les méthodes stochastiques, la surface de réponse calculée par collocation a été également utilisée en tant que modèle analytique pour le calcul des indices de Sobol. Ces indices permettent de quantifier, pour chaque variable d'entrée, la part de variabilité d'une grandeur de sortie qui lui est due. Il a ainsi été possible de clairement identifier et quantifier les variables influant sur le comportement en compression. Un article est actuellement en cours de finalisation : Analysis of the variability of food texture properties: application to dry pet food.

- Compatibilité électromagnétique en environnements stochastiques complexes

Historiquement, la collaboration entre les thèmes PHOTON-CEM (Compatibilité ElectroMagnétique) et MMS-MPMS (Mécanique Probabiliste des Matériaux et des Structures) a débuté bien avant la création de l'Institut Pascal (IP). Elle a vu le jour, en effet, en 2004, à l'occasion d'une thèse de doctorat de l'UBP (Fatou DIOUF, "Application de méthodes probabilistes à l'analyse des couplages en CEM et contribution à la sûreté de fonctionnement de systèmes électroniques"), initiée en 2004 et soutenue en 2008. Co-dirigée par F. PALADIAN et M. FOGLI, cette thèse impliqua naturellement les équipes d'appartenance de ces deux professeurs et par voie de conséquence leurs laboratoires d'appartenance: le LASMEA pour le premier, le LaMI pour le second. Sur la base de cette expérience très positive, lors de la création de l'IP (en janvier 2012), les deux équipes sus-mentionnées ont décidé de poursuivre leur collaboration dans le cadre de l'Action "Méthodes Probabilistes" du Programme Transversal. Centrée sur le thème de l'intégrité CEM de câbles en environnements stochastiques complexes et menée dans le cadre d'une thèse dédiée (Attibaud KOUASSI, thèse MESR débutée en octobre 2012), cette collaboration a conduit à des avancées significatives dans ce domaine, mises en évidence au travers des réalisations suivantes.

Éléments finis stochastiques et propagation d'incertitudes. L'analyse de la propagation des incertitudes au sein d'un équipement électromagnétique conduit le plus souvent à l'évaluation des deux premiers moments et de la loi de probabilité d'une grandeur aléatoire d'intérêt, très souvent représentative de la marge de sécurité de cet équipement vis-à-vis d'un certain critère de défaillance. Le recours aux méthodes de Monte-Carlo pour évaluer ces caractéristiques probabilistes est généralement très coûteux en temps calcul et on lui préfère pour cette raison, lorsque cela est possible, d'autres alternatives moins chronophages. Nous avons opté pour une approche par éléments finis stochastiques basée sur les chaos polynomiaux et développé deux méthodes de ce type destinées à la résolution des équations de Maxwell stochastiques issues de la prise en compte de paramètres aléatoires (endogènes et/ou exogènes) dans la version déterministe de ces équations. Appliquées à quelques problèmes simples de CEM stochastique, ces méthodes se sont révélées pleinement satisfaisantes.

Approche fiabiliste. Afin de pouvoir quantifier l'intégrité CEM des systèmes électroniques en environnements aléatoires agressifs, nous avons développé une méthodologie probabiliste basée sur les concepts et outils numériques de l'analyse fiabiliste structurale moderne : fonction d'état-limite, critère de défaillance, indice de fiabilité, probabilité de défaillance, méthodes FORM et SORM, méthodes de Monte-

Carlo avancées (importance sampling, directional simulation, subset-simulation,...). Couplée au logiciel de calcul fiabiliste FERUM (Finite Element Reliability Using Matlab), cette procédure a montré toute son efficacité à travers plusieurs applications à des lignes de transmission agressées par des ondes planes, exemples dans lesquels l'aléa affectait aussi bien les paramètres intrinsèques de la ligne (paramètres géométriques et électriques) que ceux de l'onde agressive (incidence, polarisation, amplitude).

Analyse de sensibilité. Il s'agissait ici de pouvoir quantifier le poids de la variabilité de chaque paramètre aléatoire d'un système électromagnétique stochastique sur la variabilité d'une grandeur caractéristique liée à ce dernier et représentative de son état fiabiliste. A cette fin, nous avons eu recours aux mêmes techniques d'analyse de sensibilité que celles utilisées en fiabilité structurale. Nous avons ainsi été amenés à développer deux méthodes: l'une dédiée à l'analyse de sensibilité locale, l'autre, plus fine et plus générale, à l'analyse de sensibilité globale (au sens de Sobol). Déjà implémentées dans le logiciel FERUM, ces méthodes ont été appliquées à plusieurs exemples de lignes de transmission et se sont non seulement révélées efficaces et pertinentes, mais ont montré en outre une très bonne aptitude à la détection des paramètres aléatoires discriminants dans les analyses fiabilistes des systèmes électromagnétiques stochastiques.

Polynômes chaos et analyse de fiabilité. Contrairement aux méthodes d'approximation FORM et SORM, les méthodes de calcul fiabiliste basées sur l'emploi de techniques de Monte-Carlo avancées ont prouvé leur efficacité en CEM, même pour des problèmes très complexes. Toutefois, ces méthodes sont très coûteuses en temps calcul, notamment lorsque l'état du système étudié ne peut être décrit autrement que par un modèle numérique. Afin de contourner cette difficulté, nous avons développé une procédure de type métamodèle, basée sur une représentation par chaos polynomiaux de la fonction d'état-limite du problème fiabiliste. Appliquée à des exemples de câbles en environnements stochastiques, cette approche a donné entière satisfaction, tant au niveau des gains en temps calcul que de la qualité des approximations obtenues.

Polynômes chaos et analyse de sensibilité globale. Dans la stratégie standard, le calcul des indices de sensibilité globale au sens de Sobol est effectué à l'aide d'une méthode de Monte-Carlo. Or, ces indices étant des espérances mathématiques de variances conditionnelles, leur évaluation à l'aide d'un tel procédé est très chronophage. Et cet inconvénient est encore aggravé lorsque la fonction d'état-limite du problème fiabiliste sous-jacent est décrite par un modèle numérique lui-même coûteux à évaluer. Pour pallier à cette difficulté, nous avons alors opté pour une métamodélisation par chaos polynomiaux de cette fonction, solution qui nous a permis d'obtenir une approximation explicite des indices de Sobol et d'éviter ainsi le recours à une méthode de Monte-Carlo. Testée sur des modèles numériques de câbles, cette approche s'est révélée très efficace.

- **Optimisation fiabiliste de la performance énergétique des bâtiments**

La performance énergétique des bâtiments est un défi majeur pour le développement durable, compte tenu de l'importance de l'énergie consommée par ce secteur. Alors qu'il existe des outils efficaces de simulation de la performance énergétique, les modèles actuels ne permettent pas de tenir compte des incertitudes relatives au comportement à long terme, à la dégradation des matériaux, aux singularités spatiales et au changement climatique. Ces incertitudes conduisent à un écart significatif entre les prévisions des performances et celles réellement mesurées sur les bâtiments. La prise en compte de ces incertitudes est motivée par :

- l'impossibilité d'évaluer la performance future d'un bâtiment dans un cadre déterministe, surtout dans un contexte de changement climatique et en tenant compte des profils des occupants ;
- le besoin d'outils robustes pour la prise de décisions optimales concernant la rénovation énergétique tout en assurant le confort des occupants et la durabilité de la construction.

Les compétences pluridisciplinaires des axes MMS et GePEB offrent un cadre idéal pour le développement d'une méthodologie d'optimisation de la performance énergétique, au moyen du couplage des modèles de comportement hygrométrique et des méthodes fiabilistes. Ces dernières permettent de prendre en compte de l'impact des incertitudes et des fluctuations dans les modèles d'analyse, de conception et de maintenance des bâtiments.

Les études menées dans le cadre de cette opération ont permis de :

- quantifier le rôle des incertitudes associées aux propriétés des matériaux isolants dans le choix de la solution optimale de réhabilitation ;
- proposer une nouvelle formulation du coût de rénovation en tenant compte des coûts indirects, jusqu'à présent ignorés ;
- étudier l'impact des scénarios de changement climatique, et de leur variabilité, sur la performance énergétique à long terme ;
- caractériser expérimentalement l'effet des singularités sur la performance de l'isolation.

Ces résultats offrent un outil d'aide à la décision pour les ingénieurs, les opérateurs, les décideurs et les politiques, vis-à-vis de l'équilibre entre les énergies épargnées et les ressources consommées pour la construction ou la rénovation.

Ces travaux sont actuellement prolongés, dans le cadre d'une thèse financée par le Conseil général d'Allier, pour la prise en compte des incertitudes associées au comportement de l'occupant, à l'aide de modèles physiques et statistiques (taux et périodes de présence, ouverture des fenêtres, manipulation des stores, position des consignes de chauffage, etc.). L'objectif est ainsi d'obtenir un modèle complet de propagation d'incertitude dans le processus de décisions relatives à l'amélioration des performances énergétiques.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#76	Mechanical-probabilistic modeling of a compression test on food
#77	Electromagnetic compatibility integrity of cables in complex stochastic environments
#78	Reliability-based optimization of energy performance buildings

Projets collaboratifs académiques

Une partie des travaux de l'Action a été inscrite dans l'ANR CISSSI (2006-2010) : Calcul intensif stochastique et sûreté des systèmes industriels. Comme on peut le voir sur le calendrier du projet ANR, cette action interdisciplinaire a été initiée avant la création de l'Institut Pascal ; ce travail collaboratif a fait partie des moteurs du rapprochement des laboratoires LAMI et LASMEA.

Production scientifique

✓ Communications écrites

- 3 ACL : Energy and Buildings (1), Building and Environment (1), IEEE Transaction on EMC (1)
- 5 ACTI : ICASP12, ESReDA, ICOSSAR 2013, CEM 2014, URSI GASS 2014
- 2 ACTN : JFMS 2014, RUGC

✓ Communications orales

- 2 INV : URSI GASS 2014 (Beijing, China, S. Lalléchère, 2014), SoftCOM 2014 (Split, Croatia, P. Bonnet, S. Lalléchère)
- 1 COM : CEM 2014
- 2 AFF

✓ Logiciels, ressources, bases de données

- 2 logiciels de calcul stochastique

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

- Deux conférences internationales invitées: URSI GASS 2014 (S. Lalléchère), SoftCOM 2014 (P. Bonnet, S. Lalléchère)
- Invitation d'un professeur australien (Prof. Christophe Fumeaux) pour une période d'un mois (juin 2014) dans le cadre d'une collaboration scientifique entre l'équipe Applied Electromagnetics de l'université d'Adélaïde (Australie) et l'équipe CEM de l'axe PHOTON
- Invitation d'un professeur italien (Prof. Flavio Canavero) pour deux périodes d'un mois (février 2015, juin 2015) dans le cadre d'une collaboration scientifique entre le département Electronics and Telecommunications de l'université de Turin (Italie) et l'équipe CEM de l'axe PHOTON
- Séjour d'un mois (22 novembre - 21 décembre 2014) du doctorant Attibaud Kouassi au sein de l'équipe Applied Electromagnetics de l'université d'Adélaïde. Organisé dans le cadre d'un programme de mobilité entre la France et l'Australie, ce séjour a conduit le doctorant à se pencher sur un délicat problème posé par l'équipe d'accueil: l'amélioration de la conception des antennes compte tenu des incertitudes affectant les matériaux et la fabrication. Ce problème a été résolu à l'aide de la méthodologie fiabiliste développée par le doctorant dans le cadre de la préparation de sa thèse. La solution apportée a non seulement permis de justifier la non-conformité des premières antennes fabriquées, mais a également fourni une procédure objective d'amélioration de la conception des antennes sous contrainte de conformité à un standard spécifié.

- ✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*
- Comité d'organisation du colloque international CEM 2014
- Comités scientifique et d'organisation du Workshop international UMEMA 2015

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

✓ *Diffusion de l'information scientifique*

- 3 cours de prestige annuels dans le cadre du Collège de l'Ecole Polytechnique : 1 cours sur la simulation des processus et champs stochastiques (M. Fogli), 1 cours sur les méthodes de Monte-Carlo (M. Fogli), 1 cours sur les approches fiabilistes (J.-M. Bourinet)
- 1 cours invité dans le cadre de la Cinquième Ecole Interdisciplinaire de Rennes sur les Systèmes Complexes (P. Bonnet : « Prise en compte des incertitudes dans les problèmes de CEM », oct. 2013)
- 1 conférence invitée dans le cadre des rencontres du Chapitre EMC-IEEE de Télécom ParisTEch (P. Bonnet : « Gestion des aléas en CEM », 10 juin 2014)

✓ *Liste des contrats*

Des discussions sont en cours avec la société NEXIO pour mettre en oeuvre sur une application industrielle les approches probabilistes développées dans le cadre de l'opération 2. Dans cet objectif, la rédaction d'un dossier RAPID (sous le titre « OPTimisation et Maîtrise des Marges en ElectroMagnétisme ») a été réalisée en vue d'une soumission à la DGA.

Analyse SWOT

Forces

- Compétences multidisciplinaires.
- Complémentarité des équipes collaborantes.
- Reconnaissance nationale et internationale de ces équipes dans leur domaine de compétence.
- Originalité des couplages mis en place. Très peu d'études, par exemple, associent la CEM et les Approches probabilistes et fiabilistes. Le couple PHOTON/CEM - MMS/MPMS est d'ailleurs pionnier dans ce domaine.

Faiblesses

- Manque de moyens (en matériel et assistance au développement) en matière de calcul numérique intensif.
- Valorisation limitée des résultats obtenus par manque de moyens humains (doctorants).

Opportunités

- Sensibilité de la société et des acteurs industriels et académiques à l'importance de la prise en compte des incertitudes dans les processus de prise de décision.
- Fort potentiel de collaborations nationales et internationales.
- L'intérêt du monde industriel pour certains des thèmes abordés devrait inciter les acteurs concernés à formaliser des programmes de recherche.

Risques

- Equilibre difficile à maintenir entre développements méthodologiques et applicatifs.
- Perte de la longueur d'avance des équipes collaborantes, suite aux sollicitations multiples.
- Quasi-impossibilité de traiter des applications industrielles par manque de moyens de calculs performants.

1.2.5.4. Action Matériaux et Modélisation Multi-Echelle

Personnels

François Auslender (MMS, MCF60-HDR, UBP), Xavier BALANDRAUD (MMS, PR60, IFMA), Juan CORRALES (ISPR, MCF61, IFMA), Hélène DE BAYNAST (GePEB, MCF62, UBP), Jean-Francois DESTREBECQ (MMS, PR60, UBP), Nikolay GIPPIUS (PHOTON, PR Chaire d'Excellence ANR, UBP), Michel GREDIAC (MMS, PR60, UBP), Florence Labesse-Jied (MMS, MCF60-HDR, UBP), **Yuri LAPUSTA** (MMS, PR60, IFMA), Rostand MOUTOU-PITTI (MMS, MCF60-HDR, UBP), Youcef MEZOUAR (ISPR, PR61, IFMA), Philippe MICHAUD (GePEB, PR64, UBP), Evelyne TOUSSAINT (MMS, PR60, UBP), Christophe VIAL (GePEB, PR62, UBP)

Associés

Marc KAMLAH (PR, KIT, Prof. Invité LabEx IMobS3, février - mars 2013), Volodymyr LOBODA (PR, DNU, Prof. Invité LabEx IMobS3, novembre 2014 et novembre 2015), Oleh YASNIY (MCF, TNTU, préparation d'une HDR UBP)

HDR soutenues

HDR soutenues (2) : Florence LABESSE-JIED (2014), Rostand MOUTOU-PITTI (2015)

Doctorants (*rattachement Axe principal*)

Thèses soutenues (3) : Maité MARCHANT (MESR, thèse soutenue le 10 avril 2014 ; *Axe MMS*), Nicolas ZALACHAS (MESR, thèse soutenue le 16 avril 2014 ; *Axe MMS*), Oleksii VIUN (Bourse LabEx IMobS3, thèse soutenue le 11 septembre 2015 ; *Axe MMS*)

Post-Doc (PD) et personnels contractuels

Oleh YASNIY (PD, octobre 2010 – septembre 2011, janvier 2013 – avril 2013), Nicolas ZALACHAS (ATER, septembre 2012 – aout 2013), Omar SAIFOUNI (ATER, septembre 2013 – aout 2015), Khaled ARROUK (ATER, septembre 2015 – maintenant)

Collaborateurs administratifs

Françoise CIALDELLA (UBP), Jacqueline GORSE (UBP), Béatrice LOISEAU (UBP), Christine TURCAT (UBP)

Contexte

La thématique relative aux propriétés remarquables des matériaux et à leur comportement multi-échelle et multi-physique est très importante dans le contexte des applications innovantes. L'objectif principal de l'action MMME est, en associant les compétences des acteurs des Axes MMS, PHOTON, ISPR et GePEB de l'Institut Pascal, accumulées dans le domaine de matériaux et systèmes modernes (matériaux et systèmes actifs et intelligents, composites, systèmes photo-réactifs et électrochimiques, systèmes nano-photoniques, éco-matériaux...) d'apporter des réponses originales et bien fondées sur les particularités du comportement multi-échelle, mécanique et multi-physique de ces matériaux et systèmes.

Les enjeux concernés par l'introduction des matériaux actifs et des éco-matériaux dans les systèmes et technologies modernes sont considérables, car il s'agit d'un secteur économique et technologique majeur à l'échelle nationale et internationale. Par exemple, la connaissance approfondie des matériaux actifs et de leurs comportements au sein de systèmes innovants aidera au développement d'applications en lien direct avec des domaines tels que les appareils médicaux, la délivrance de médicaments, la fabrication de biomatériaux, les actionneurs, la robotique, etc... Le développement de capteurs bi-matériaux à base de matériaux actifs est porteur de fortes potentialités pour des applications liées à la gestion des risques, à l'environnement ou à la production d'énergie propre. L'introduction des matériaux actifs pour le contrôle et le renforcement des constructions, ouvre par ailleurs la voie à de nouvelles solutions pour la prolongation de la durée de vie d'ouvrages existants ou pour leur sécurisation vis-à-vis de risques environnementaux accrus (climat, séismes, risques industriels).

Notons que cette thématique n'a fait l'objet que d'un nombre relativement limité de travaux prospectifs, tant sur un plan national qu'international. Plusieurs de ces travaux ont mis en évidence les potentialités offertes par les matériaux et systèmes adressés par cette Action, pour des applications mécaniques, multi-physiques et bio-chimiques novatrices. En perspective, il s'avère possible d'optimiser et d'améliorer de manière significative le comportement d'un matériau ou système, ou de lui donner un comportement *intelligent* en l'associant avec d'autres matériaux. Les acteurs de l'Institut Pascal ont déjà contribué à cet effort de recherche au travers de plusieurs travaux et publications dans leurs domaines respectifs d'expertise. Ces travaux ont permis de confirmer les potentialités et d'identifier plusieurs axes importants pour lesquels un effort de recherche transdisciplinaire s'avère nécessaire. L'Action MMME se positionne

donc sur une thématique originale et innovante, porteuse de fortes potentialités, pour laquelle l'effort de recherche ne fait que commencer.

Actuellement, les travaux ont pour but de développer de nouvelles modélisations multi-échelles et multi-physiques de matériaux intelligents, de composites et de systèmes à base de ces matériaux. Les matériaux actifs réagissent mécaniquement (déformation, contrainte) et multi-physiquement à des stimuli physiques (champ électrique, température, lumière...) et/ou chimiques. Intégrer de tels matériaux dans une technologie moderne nécessite la prise en compte des particularités mécaniques et multi-physiques de leurs comportements. La thématique vise donc à une meilleure compréhension du comportement et des modes de défaillance de certains matériaux actifs qui sont étudiés non seulement comme des mono-matériaux mais surtout dans le contexte de leur association avec d'autres matériaux (par exemple, un matériau actif contraint par un autre matériau dans un composant, un bi-matériau ou un élément de structure) et de leur éventuelles applications dans des nano- et microtechnologies modernes (par exemple nano- et microstructures fonctionnelles à micro-géométrie variable, adaptable et/ou contrôlable grâce aux matériaux actifs et intelligents, nanophotonique). Cette action s'inscrit également dans une démarche de recherche de solutions innovantes pour des applications en Génie Mécanique, Electronique et Automatique : modélisations des matériaux pour les actionneurs et les capteurs. Plusieurs classes de matériaux actifs sont considérées dans le cadre de cette action : les gels polymériques, les élastomères diélectriques, les matériaux piézoélectriques et électro-magnéto-élastiques. Des aspects importants liés au comportement multi-physique, optimisation et la rupture sont analysés. Dans le cadre de cette thématique, ces matériaux actifs sont étudiés en association avec des matériaux souples ou rigides.

Cette thématique s'appuie sur l'expertise multidisciplinaire des acteurs des différents Axes de l'Institut Pascal relativement aux matériaux multi-physiques et aux matériaux auxquels ils sont associés, aux systèmes périodiques, ainsi qu'à l'analyse multi-échelle de leurs comportements complexes. Elle bénéficie également de collaborations actives avec des spécialistes étrangers de renommée internationale (Harvard, Karlsruhe Institut of Technology, Université Nationale de Dniepropetrovsk).

Réalisations

- Modélisations multi-échelles de systèmes nano photoniques à base de matériaux intelligents

Beaucoup d'applications en ingénierie demandent l'utilisation de matériaux intelligents qui peuvent se déformer en réponse à un stimulus extérieur. C'est dans ce contexte, que s'est posé ce projet de recherche. Bénéficiant d'un environnement pluridisciplinaire des Axes MMS et PHOTON de l'Institut Pascal, cette modélisation s'appuie sur un système expérimental novateur mis au point par une équipe américaine qui permet la mesure sans contact du pH d'une solution en exploitant les caractéristiques photoniques du système. Ce système est composé d'un réseau d'hydrogel fixé sur un substrat rigide. Un modèle numérique couplé mécano-chimique et optique est développé dans le but de simuler le fonctionnement de l'ensemble et d'optimiser le réseau d'hydrogel en vue d'applications dans le domaine médical.

- Modélisations des systèmes de contrôle actif basés sur les MFC piézoélectriques

Les matériaux multi-physiques sont utilisés pour le contrôle actif de structures intelligentes. Citons par exemple les matériaux piézoélectriques, matériaux magnéto-électro-élastiques, les alliages à mémoire de forme, les fluides électro-rhéologiques etc... dont les propriétés *intelligentes* sont souvent utilisés. Parmi eux, des matériaux piézoélectriques, magnéto-électro-élastiques et magnétostrictifs ont la capacité de servir comme capteurs et actionneurs. Cela explique leur utilisation dans les systèmes de contrôle feedback. Par exemple, si la partie capteur détecte un mouvement ou vibration indésirable, la partie actionneur intervient pour corriger ce mouvement. La commande intelligente des structures et des systèmes robotiques et la suppression de leurs vibrations indésirables en utilisant les matériaux piézo-céramiques est donc un domaine très important qui ouvre différentes perspectives prometteuses. Dans ce travail, un système intelligent composé d'une poutre en aluminium avec deux patchs macro-fiber composite (MFC) utilisant les matériaux piézoélectriques est analysé. L'influence des défauts et des fissures est étudié. Tout d'abord, une fissure est introduite entre le MFC et la poutre d'aluminium, et l'influence de cette fissure sur l'amplitude de la poutre est étudiée. Finalement, les effets d'une fissure dans une partie fixe de la poutre sur les performances du système sont analysés.

- Instabilités de pliage dans les hydrogels sensibles au pH et modélisation d'un système expérimental optique

Le développement récent de microsystèmes avec de nouvelles fonctionnalités nécessite l'emploi de matériaux actifs. Un type particulier de matériaux actifs, les hydrogels, a la capacité de se déformer en réponse à de nombreux signaux physiques et chimiques. Les hydrogels ont le potentiel de servir dans des secteurs innovants en microtechnologie comme la microfluidique ou la micro-optique, notamment pour concevoir des microsystèmes commandés par stimuli physiques et chimiques. Le objectif de cette

modélisation multi-physique concerne la limite du comportement en grandes déformations des hydrogels dans un système optique, induite par une instabilité mécanique récemment caractérisée : le pliage. Une nouvelle méthode numérique a été utilisée pour déterminer les conditions de stabilité, ainsi que l'influence du pH sur la propagation d'un pli dans une structure en hydrogel. Cette démarche est réalisée pour une structure représentative de microsystèmes optiques réels.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

- #79 A coupled model for a hydrogel diffraction grating used in pH-sensing
- #80 Modeling of active piezoelectric composite structures with cracks

Projets collaboratifs académiques

Les projets de l'Action MMME ont permis aux acteurs concernés de l'Institut Pascal de renforcer leur expertise et reconnaissance nationale et internationale dans le domaine des approches transdisciplinaires et multi-échelles des matériaux et systèmes multi-physiques. Plus particulièrement, cela concerne les matériaux actifs, les composites, les matériaux et les systèmes électromécaniques ainsi que les matériaux pour la mobilité. Cette action a reçu un financement via le Défi 1 du LabEx IMobS3, Action "MAIM".

Notons également le projet DEMETHER (ANR 26/01/2011 – 25/07/2015), coordonné par Jean-Denis MATHIAS de l'IRSTEA, qui a associé 7 équipes de recherche dont deux équipes de l'Institut Pascal, MMS (M. Grediac, E. Toussaint) et GePEB (P. Michaud, H. De Baynast), qui a permis le développement de nouveaux matériaux biosourcés issus de co-produits agricoles pour l'isolation thermique de bâtiments existants, répondant ainsi à une partie des enjeux du Grenelle 2 de l'environnement et des directives européennes sur l'environnement.

Production scientifique

✓ Communications

- 1 ACL et 4 ACTI (avec auteurs inter-Axes) : Comptes Rendus Mécanique, Research in Mechanics of Composites ;
- 6 ACL et 1 ACTI associés : Acta Mechanica, Archive of Applied Mechanics, Applied Mathematical Modelling, Mechanic Research Communications, Int. J. of Solids and Structures

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ Invitations et attractivité internationales

L'Action a attiré plusieurs personnalités étrangères en tant que professeurs invités et/ou sur contrats du LabEx IMobS3 : Marc KAMLAH (Pr., KIT, Prof. invité LabEx IMobS3, février - mars 2013), Volodymyr LOBODA (Pr., DNU, Prof. invité LabEx IMobS3, novembre 2014 et novembre 2015), Dr. Oleh YASNIY (Post-doctorant, octobre 2010 – septembre 2011, chercheur invité (janvier 2013 – avril 2013), en plus de visites de l'Action de courte durée pour les discussions sur les possibilités de coopération : Pr. William CURTIN, EPFL, Suisse, Pr. Christoph EBERL (Fraunhofer IWM, Allemagne), Pr. Werner WAGNER (KIT, Allemagne).

Participation à cinq comités scientifiques de conférences internationales et deux comités éditoriaux.

Formation

Cette action a contribué également à la formation par la recherche des doctorants et étudiants de Master recherche. Un cours intitulé "Mécanique multi-échelle et multi-physique des matériaux" du cursus Master Mécanique, Automatique, Robotique de l'UBP (2012-), s'appuie fortement sur les résultats innovants obtenus dans le cadre de l'Action MMME. Ce cours a été dispensé par des personnels permanents de cette action. Il a permis aux jeunes chercheurs et aux étudiants de découvrir les propriétés remarquables des matériaux innovants et leurs comportements multi-échelle et multi-physique. Les étudiants ont pu effectuer leur stage de Master ou leur thèse de doctorat auprès des enseignants-chercheurs et chercheurs acteurs de cette action.

Un projet d'un Master International a été préparé et est dans la phase de la finalisation (porteurs Y. Lapusta, MMS et Y. Mezouar, ISPR) qui vise à former, essentiellement en anglais, des cadres de haut niveau capables d'innovation dans le développement de systèmes mécaniques pilotés. Ce Master proposera une formation pluridisciplinaire (en particulier dans les domaines de la mécanique et de la physico-chimie des matériaux, la conception mécanique, l'automatique et l'informatique industrielle). Ce projet se distingue significativement des offres (locale, nationale et internationale) existantes souvent mono-disciplinaires, quelquefois couplant l'apprentissage de la conception mécanique au génie électrique (informatique industrielle, électronique et automatique) en proposant en plus d'enseignements en conception mécanique et génie électrique, des unités d'enseignement dans les domaines de la mécanique et de la physico-chimie des matériaux. En effet, la multiplicité et la diversité des facteurs à prendre en compte pour la conception innovante d'un système mécanique piloté, en vue d'augmenter et/ou d'optimiser sa fonctionnalité et ses performances, requiert la formation de cadres maîtrisant l'ensemble de la chaîne de conception (choix des matériaux, conception, pilotage du mécanisme via de calculateurs industriels, cycle de vie des mécanismes).

Analyse SWOT

Forces

- Compétences multidisciplinaires et complémentarité des équipes.
- Reconnaissance nationale et internationale de ces équipes dans leur domaine de compétence.

Faiblesses

- Manque de moyens (en matériel et assistance au développement) en matière de calcul numérique intensif.
- Manque de moyens humains (doctorants).

Opportunités

- Actions du projet I-SITE CAP2025 : matériaux intelligents - capteurs - instrumentation.
- Matériaux actifs pour l'instrumentation médicale.

Risques

- Réduction des crédits récurrents, diminution des RH doctorales (Ecoles Doctorales), menaces sur les renouvellements de postes.
- Difficile d'assurer la continuité d'actions de recherche soumises à financements sur concours d'AAP.

1.3. Formation par la recherche

Investissement dans les formations de Master et Licence

Les personnels de l'Institut Pascal sont fortement impliqués dans les formations du secteur SPI du site clermontois : Ecole d'Ingénieurs Polytech Clermont (UBP), Ecole d'Ingénieurs IFMA, Ecole d'Ingénieurs ENSCCF, et dans les formations universitaires de Licence et Master (Professionnel et Recherche).

97 % des personnels *chercheurs* de l'IP sont enseignants-chercheurs, de trois établissements (UBP, IFMA et ENSCCF), cela se retrouve dans les **responsabilités de formation** portées par les personnels de l'IP :

Etablissement	Formation
IFMA	3 Responsables de Pôles
IFMA	Responsable Département Machines Mécanismes et Systèmes
UBP Polytech Clermont	Responsable Département Génie Civil
UBP Polytech Clermont	Responsable Département Génie Electrique
UBP Polytech Clermont	Responsable Département Génie des Systèmes de Production
UBP Polytech Clermont	Responsable Département Génie Biologique
UBP Polytech Clermont	Responsable Département Génie Physique
ISIMA (Ecole d'Ingénieurs Informatique)	Responsable Département Informatique des Systèmes Embarqués
ENSCCF	Responsable de la filière SPI et responsable du parcours génie chimique
UBP	Responsables Master Ingénierie Mécanique et Civile (mixte PRO et RECH), spécialité Mécanique, matériaux, structures, fiabilité
UBP	Responsables spécialité Robotique et spécialité Mécatronique du Master Génie Mécanique et Civil, Automatique, Robotique
UBP	Responsable Master Ingénierie des Systèmes Electroniques et Energétiques Responsables spécialité Microélectronique et Architecture des Circuits Intégrés, spécialité Compatibilité Electromagnétique et spécialité Gestion et Transformation de l'Energie Electrique du Master
UBP	Co-Responsabilité Master Sciences de la Matière Responsable spécialité Nanostructures et Nanophotonique
UBP	Responsable de spécialité du Master Nutrition, Santé, Aliment
UBP (IUT Montluçon)	Département Génie Mécanique et Production

Les personnels de l'IP assurent la **direction et la direction-adjointe de Polytech Clermont-Ferrand** (PR62 et MCF60), ainsi que la **direction des études** de l'école (MCF 62). La **Délégation générale du réseau Polytech** est assurée par un personnel de l'IP (PR62).

La **direction de l'IUT de l'Université d'Auvergne** a été assurée par un personnel de l'IP (PR61) de 2009 à 2014.

Le **Département de Physique** de l'UFR Sciences et Technologies de l'UBP est placé sous la direction d'un membre de l'Institut Pascal (PR28) depuis 2011, dont l'une des missions est la coordination de l'offre de formations des disciplines relatives aux sections CNU 28, 60, 61 et 63 (pour celles relevant de l'Institut Pascal).

Les enseignants-chercheurs de l'IP sont par ailleurs tout autant pro-actifs et moteurs sur les formations de Licence (Responsabilité de la Licence Sciences pour l'Ingénieur, UBP ; responsabilités de spécialités de Licence diverses, UBP).

Les maquettes des formations du prochain contrat de l'établissement seront en discussion en 2016. On peut citer un projet de mise en place d'un Master International qui vise à former, essentiellement en anglais,

des cadres de haut niveau capables d'innovation dans le développement de systèmes mécaniques pilotés. Ce Master proposera donc une formation pluridisciplinaire, en particulier dans les domaines de la mécanique et la physico-chimie des matériaux, la conception mécanique, l'automatique et l'informatique industrielle.

Stages de Master

37 stagiaires de Master première année, 59 stagiaires de Master deuxième année et 43 stages Ingénieur ont été accueillis au laboratoire. Les gratifications des stages de Master sont financées par un apport conjugué de l'établissement UBP, les réserves des Axes (soit par réserve directe d'Axe, soit par les équipes accueillantes), et les allocations du LabEx IMobS3 sur les sujets attenants.

La formation Doctorale à l'IP

L'Ecole Doctorale des Sciences pour l'Ingénieur est dirigée par un membre de l'Institut Pascal depuis 2008 (PR63 - prochain mandat 2017-2021 également, PR61). En complément des données communiquées en section 1.5 (Cartographies), nous apportons ici des informations sur la politique d'accompagnement des Doctorants de l'IP.

Un système d'accueil des nouveaux Doctorants a été mis en place en 2015. Il se compose d'une série d'actions, propres à créer la **Communauté des Doctorants** de l'IP. Une Assemblée Générale d'Accueil est programmée annuellement fin octobre de l'année en cours. Lors de cette AG, le Directeur et/ou le Directeur-Adjoint délivrent des informations générales sur le laboratoire et initient le dialogue entre les doctorants entrants et leur unité de recherche. Un Livret d'Accueil est distribué, il comporte une description scientifique et organisationnelle de l'IP, des informations pratiques (démarches administratives internes à l'IP et externes à l'IP), le Règlement Intérieur de l'unité, et une partie spécifique dédiée aux consignes d'Hygiène et Sécurité. Ce travail a été initié au printemps 2015 avec la tenue d'une Assemblée Générale des Doctorants de l'IP, premier acte de la création de la Communauté des Doctorants. Les Doctorants ont ainsi participé à la définition de leur espace et ont exprimé leur desiderata. Une Journée des Doctorants se tiendra annuellement avec des séminaires scientifiques et des activités de convivialité. Un espace dédié sur le site web du laboratoire est animé par les Doctorants, lieu d'actualités mais aussi espace pour un réseau professionnel post-doctoral. Cet espace sera un outil du suivi professionnel des doctorants à leur sortie de l'IP. Il n'existe à l'heure actuelle aucun outil de statistique de ce suivi à l'IP, ce qui est un dysfonctionnement qui devra être corrigé (mise en place en 2016). Les encadrants des doctorants participent au placement des jeunes Docteurs en post-doc via leurs réseaux de collaborations, ou en ayant des démarches de recommandation (écrites ou orales) auprès des confrères français ou étrangers.

Les modalités de publication des Doctorants sont fixées par les Ecoles Doctorales. Tous les Doctorants de l'IP ont à la fin de leur thèse une publication de type ACL et une participation en Congrès International a minima. La moyenne sur la production écrite est cependant plus élevée : 4,4, répartis en 1,7 ACL et 2,7 ACTI. Pour la grande majorité, la participation en congrès sous forme d'une Communication Orale (COM) est privilégiée. Les groupes de recherche s'efforcent également de faire participer leurs doctorants à des Ecoles d'Ete (Ecoles thématiques de GDR (CNRS PULSE, ...), Ecoles thématiques de LabEx (GaNeX,...)). 3 doctorants étaient contractuels de réseaux européens (ITN) et ont bénéficié des opérations de mobilité de réseaux attenantes.

Analyse SWOT

Opportunités

La place universitaire clermontoise est restructurée à partir du 1er janvier 2017, avec la mise en place d'un unique établissement universitaire, l'Université Clermont Auvergne (UCA), à partir de l'UBP et de l'Université d'Auvergne. Dans ce cadre, des Collegia sont créés. L'Institut Pascal sera ainsi rattaché principalement au Collegium **Technologies, Sciences pour l'Ingénieur**, et secondairement aux Collegia **Sciences Fondamentales** et **Sciences de la Vie, Santé, Environnement**. L'UCA a voulu ainsi affirmer et renforcer l'affichage et la visibilité de ses secteurs clefs. La création de l'établissement unique, la candidature I-SITE CAP2025 du site clermontois avec un Axe SPI "Mobilité des Personnes, Usine du Futur et Agro-Technologies" sont clairement des opportunités pour innover sur les offres de formation et accroître l'attractivité sur le territoire national et international des formations des secteurs Mécanique/Automatique/Robotique. Le tryptique recherche/formation/valorisation bénéficie ici d'un terrain propice, assorti de moyens d'Etat dédiés.

Risques

Le nouvel établissement devra définir sa politique scientifique globale de site, incluant en cas de succès les Axes définis dans le projet CAP2025, mais également les pôles de recherche compétitifs de l'établissement non inscrits dans ces Axes. L'Institut Pascal en est un exemple local parfait : une partie des activités de l'IP est actrice de CAP2025, une autre partie ne l'est pas, tout en pouvant revendiquer un leadership sur les thématiques développées. Des règles d'ouverture de diplômes (effectifs étudiants, encadrements enseignants/# postes, moyens équipements/travaux pratiques) dépendront la pérennité de Master en difficulté. Une non ouverture d'un Master est un risque à la recherche puis au recrutement d'étudiants en stage de Master 2 puis en thèse. Les Axes PHOTON et GePEB de l'IP sont particulièrement affectés ici : le Master Sciences de la Matière et sa spécialité Nanostructures et Nanophotonique sont en re-définition pour atteindre le seuil d'ouverture à l'horizon 2017 ; il n'y a aucune formation spécifique de Master de Génie des Procédés sur le site clermontois. Bien entendu, le recrutement par suite peut se faire et se fait via les réseaux nationaux et internationaux de diplômes Master ou équivalents, avec les aléas et difficultés de délocalisation pour les étudiants en cycle d'études établi sur un autre lieu géographique. Notre période est celle d'une mutation profonde du paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche : gageons que les dispositions à la mobilité gagneront peu à peu les générations d'étudiants à venir.

Forces

Les personnels de l'IP ont toujours été très actifs sur la proposition et la coordination des formations, ils le demeurent et préparent à l'heure actuelle la cartographie 2017-2021 des formations du site. Ils agissent ainsi directement sur l'avenir. Les formations bénéficient de l'appui d'une recherche dynamique de bon niveau qui pourra être revendiqué pour soutenir leur attractivité nationale et internationale.

Faiblesses

L'attraction nationale de nos formations doit être renforcée dans le terrain concurrentiel actuel. La place géographique clermontoise n'est pas de prime abord la destination privilégiée de nos jeunes concitoyens nationaux ou européens, mais elle offre des conditions de vie en termes économiques, d'hébergement et d'accueil culturel qui méritent d'être reconnues. L'ouverture à l'internationale est trop faible. Un effort certain, voire prioritaire, devra être fourni. En cela, la politique d'incitation au recrutement à l'internationale portée par le LabEx IMobS3 a été un précieux catalyseur et restera un outil privilégié d'accompagnement. Les personnels de l'IP délivrent les cours de certaines spécialités de Master en anglais, c'est une démarche qui sera élargie. Attention à une mauvaise coordination des formations SPI sur le site clermontois : une multiplication avec doublons nuirait à la lisibilité et à l'efficacité de l'ensemble. Les acteurs du secteur de l'IP sont présents dans toutes les structures : Ecoles d'Ingénieurs et Master Universitaires, ils ont donc toutes les clefs pour réussir ce travail de rationalisation.

2. Bilan Thérapies Guidées par l'Image *ISIT/IGCNC/PEPRADE*

2.1. Présentation générale du collectif Thérapies Guidées par l'Image

2.1.1. Identité du groupe

Le groupe TGI (Thérapies Guidées par l'Image) est né de la reconfiguration d'une UMR (6284 CNRS UDA ; Image Sciences for Interventional Techniques, ISIT ; JY Boire) et deux EA (7282 UDA, Image Guided Clinical Neuroscience and Connectomics, IGCNC, JJ Lemaire ; 4681 UDA, Périnatalité, grossesse, Environnement, PRAtiques médicales et DÉveloppement, PEPRADE, D Lemery). Ces entités se fédèrent autour d'un thème commun les Thérapies Guidées par l'Image, et constituent un nouvel axe de l'Institut Pascal (vote IP du 24 mars 2015). Cette restructuration est accompagnée par l'Université Clermont Auvergne (Université d'Auvergne et Université Blaise Pascal) et l'institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS.

Le champ scientifique est le guidage par l'image de gestes chirurgicaux et interventionnels, et de diagnostics. Son périmètre est contraint par les quatre secteurs applicatifs médicaux (sections CNU santé 43, 49, 51, 52, 54) :

- techniques interventionnelles percutanées (TIPC ; Percutaneous Interventional Techniques) en cardiologie, endovasculaire, hépatologie et pathologies pelviennes;
- endoscopie (EndoSurg ; endosurgery) en gynécologie et pathologies intestinales;
- neuronavigation (NeuroNav) en neurochirurgie et neurosciences cliniques;
- environnement et technologies de la grossesse (TEPreg ; Technology, Environment and Pregnancy) en péri-fœtologie, obstétrique et périnatalogie.

L'entité est interdisciplinaire, relevant de deux domaines scientifiques, Sciences du Vivant et Environnement (SVE), et Sciences et Technologies (ST). Cette interdisciplinarité se décline autour de quatre champs de recherche transversale (sections CNRS 7, 28 et 26 ; sections CNU 27, 61 et 26 ; section CNU santé 46) sur des points remarquables de fertilisation croisée :

- Guidage par l'Image (Image-Guiding)
 - imagerie médicale (Medical Imaging)
 - cartographie structurelle et fonctionnelle (Structural & Functional Mapping)
 - en aide au diagnostic (Diagnosis Aid)
 - guidage de gestes chirurgicaux et interventionnels (Image-Guided Medical Procedures)
- Analyse de l'image et augmentation d'information (IAA ; Image Analysis [Semantic] and Augmentation) :
 - vision par ordinateur (Computer Vision)
 - traitement du signal et des images (Medical Image Analysis)
- La simulation de modèles anatomo-physiopathologiques (SimPath) : modélisation dynamique et statique de conditions pathologiques en cardiovasculaire
- L'évaluation médicale (EvaMed)
 - évaluation de technologies et de processus qualité
 - évaluation de risques.

Ces points remarquables existent aussi là où les spécialités médicales peuvent croiser leurs domaines de compétences en applications avancées : endoscopie endo-cavitaire, e.g. pelvis et abdomen, et organes creux, e.g. tube digestif ; techniques endovasculaires, e.g. système cardio-vasculaire et organes cibles, comme le foie, le rein, l'utérus ; navigation dans le cerveau ; imagerie périnatale, avant, pendant, après la grossesse, en particulier pour l'accouchement.

2.1.2. Organisation fonctionnelle

Le groupe s'organise au plan fonctionnel autour de quatre thèmes scientifiques, Endoscopy and Computer Vision (EnCoV), Cardio-Vascular Interventional Therapy and Imaging (CAVITI), Image-Guided Clinical Neuroscience and Connectomics (IGCNC), et Périnatalité, grossesse, Environnement, PRAtiques médicales et DÉveloppement (PEPRADE).

Le thème Endoscopy and Computer Vision (EnCoV) a trois axes de recherche. Le premier est un axe fondamental en vision par ordinateur, le deuxième un axe clinique en endoscopie et le troisième un axe interdisciplinaire. L'axe fondamental est focalisé sur la vision 3D et la réalité augmentée pour les objets déformables. L'axe clinique est la coeliochirurgie gynécologique et hépatique, ainsi que l'endoscopie digestive. L'axe interdisciplinaire se situe à la croisée des deux premiers axes. Il s'en nourrit et les alimente en

retour : de nouveaux problèmes fondamentaux pour le premier axe et de nouveaux outils pour le deuxième axe. Plus précisément, les travaux interdisciplinaire d'EnCoV sont focalisés sur l'assistance au diagnostic et au geste en endoscopie par la réalité augmentée (concept de la transparence virtuelle des tissus), la mesure 3D (possibilité de mesurer distances, aires et volumes directement sur une image endoscopique) et la reconnaissance par apprentissage (repérage automatique d'indices visuels permettant par exemple de diagnostiquer la nature d'une lésion).

Le thème **Cardio-Vascular Interventional Therapy and Imaging (CAVITI)** a 4 axes de recherche : (1) Imagerie endovasculaire par Optical Coherence Tomography (OCT) sur la structure des endoprothèses (stents) et de la paroi des artères coronaires ; (2) la planification et le guidage interventionnels des dissections de l'aorte ascendante ; (3) l'embolisation parenchymateuse pour chimio-embolisation des carcinomes hépatiques et des outils permettant d'objectiver la réponse tumorale associée ; (4) la fonction myocardique régionale 3D propose un nouveau formalisme et de nouvelles interfaces pour calculer les déformations myocardiques (strain) de façon interactive.

Le thème **Image-Guided Clinical Neuroscience and Connectomics (IGCNC)** adresse le développement d'actions (1) sur la cartographie cérébrale (représentation cartographique de l'anatomie cérébrale ; brain mapping) personnalisée qui a fondé le projet applicatif, (2) la connectomique (étude du réseau de connexions intra encéphaliques) fonctionnelle clinique (fonctions neurologiques cliniques et les connexions les supportant), et (3) les études cliniques en neurosciences guidées par l'image en lien avec la cartographie et la connectomique. La connectomique est spécifiquement clinique car elle prend en compte le dysfonctionnement cérébral consécutif aux pathologies et elle est formalisée au niveau macroscopique.

Le thème **Périnatalité, grossesse, Environnement, PRAtiques médicales et DEveloppement (PEPRADE)** porte sur les facteurs environnants de la grossesse et de la naissance, au premier rang desquels sont les technologies médicales (échographie en particulier) ainsi que l'environnement (au sens médical, structurel, social, industriel...), les identifie et en évalue l'impact afin d'améliorer la santé de la mère et de l'enfant.

Durant la phase de transition, entre le 2^{ème} trimestre 2015 et fin 2016, la reconfiguration des équipes passe par la coordination des projets des 4 thèmes, pérennisant les actions engagées, et mettant en place une nouvelle organisation autour du projet commun, partagé, TGI.

Dans le cadre de l'interdisciplinarité, la production, le rayonnement, les interactions, la formation et la stratégie sont développés sur les thèmes scientifiques, avec des prolongements applicatifs et méthodologiques. Si l'applicabilité médicale est priorisée, elle ne contraint pas systématiquement la recherche méthodologique : la recherche peut ainsi s'étendre, selon les actions, au-delà des 4 thèmes de l'axe TGI, et au-delà du domaine applicatif médical. De même la recherche appliquée des équipes hospitalières ne se limite pas exclusivement aux 4 thèmes scientifiques.

Globalement les 4 thèmes scientifiques sont les garants de la pertinence médicale de la recherche, et en parallèle, des actions et projets sont construits à partir des champs transversaux, sur les points de fertilisation. Les quatre champs de recherche transversale, Image-Guiding, IAA, SimPath et EvaMed sont au cœur de l'interdisciplinarité ; projets et actions méthodologiques et appliqués étant conçus à partir des points de fertilisation.

Image-Guiding porte la légitimité principale de la reconfiguration TGI, et c'est donc sur lui que se concentrent les perspectives, notamment sur les applications médicales où l'on retrouve les 4 thèmes. Les 3 autres champs transversaux sont naturellement issus des compétences des équipes. IAA regroupe les compétences pour augmenter l'information et l'analyse des images médicales, et les spécificités des équipes se potentialise par la reconfiguration : (1) la vision par ordinateur actuellement en adéquation avec son champ applicatif (ENCOV), devrait s'étendre en terme applicatif et méthodologique aux autres thèmes ; (2) le traitement du signal et des images, plus spécifique aux domaines applicatifs s'appuyant essentiellement sur l'imagerie médicale non optique (CAVITI, IGCNC), va aussi pouvoir s'étendre aux autres thèmes. SimPath jusqu'alors plutôt développé sur le thème CAVITI va s'étendre aux autres thèmes. Enfin EvaMed présent dans les quatre thèmes va s'organiser autour de l'évaluation médicale de technologies, de processus qualité et de de risques.

Les 4 axes transversaux permettent aussi de répondre aux enjeux de la reconfiguration et de l'intégration à l'IP. Ils créent la trame d'ancrage pour les autres axes de l'IP pour réaliser de nouvelles applications médicales technologiques et amplifier celle déjà engagées.

La gouvernance et l'animation de l'Axe fait partie du projet. Elle repose sur le principe de convergence de la reconfiguration proposée à la création de l'axe ; elle est coordonnée par le **Porteur du projet TGI (2015-2016)**

JJ Lemaire) et un **Responsable adjoint** nommé par le porteur (.....), en lien avec la gouvernance de l'Institut Pascal.

En pratique, le mardi de 16h à 18h sont organisées les réunions intra axe TGI. TGI participe aux réunions du comité d'axe de l'IP le lundi matin de 8h à 10h à l'IP. Des réunions de coordination des projets inter axes doivent être mises en place le jeudi de 16h à 18h30. Cet agenda est sanctuarisé pour faciliter les échanges en tenant compte des activités des différents acteurs et, pour les médecins, plus spécifiquement des réunions de concertation pluridisciplinaires et des plages d'activités réglées (soins, opérations, actes interventionnels, consultations et actes diagnostiques).

2.1.3. Profil d'activité

TGI	Recherche académique	Interactions avec l'environnement	Appui à la recherche	Formation par la recherche	Total
Groupe	60%	10%	10%	20%	100%

Les ressources humaines sont concentrées à hauteur d'environ 60% sur la recherche (production, rayonnement et attractivité). Le nombre de stagiaires augmentant nous estimons qu'environ 20% de l'activité leur sont dédiés. La participation aux actions vers l'environnement (dimension sociétale) est estimée à environ 10%, et 10% pour les actions d'appui à la recherche. L'interaction avec l'environnement est en fait très étendue car la dynamique de la recherche se propage au-delà du périmètre scientifique, notamment au travers des activités médicales du CHU de Clermont-Ferrand.

2.1.4. Cartographies récapitulatives

Personnels

- ✓ *Permanents*
 - 56 (30 ISIT, 9 IGCNC, 17 PEPRADE)
- ✓ *Associés*
 - 21 (13 ISIT, 4 IGCNC, 13 PEPRADE)
- ✓ *Doctorants*
 - Thèses soutenues : 6 (4 ISIT, 1 IGCNC, 1 PEPRADE)
 - En cours : 26 (16 ISIT, 6 IGCNC, 4 PEPRADE)
- ✓ *Post-Doc et contractuels*
 - 11 (10 ISIT, 1 IGCNC)
- ✓ *Effectifs de l'entité (06/2015 ; création de l'Axe TGI)*
 - 25 Enseignants/Chercheurs titulaires (EC_tit), 17 Enseignants/Chercheurs autres (EC_aut), 17 autres permanents (AP_aut) et 6 autres chercheurs (EC_aut)
 - 25 Doctorants et 12 Postdoc et contractuels
- ✓ *Personnels ayant quitté l'entité pendant le contrat en cours (et nombre de mois cumulés passés dans l'entité au cours de cette période)*
 - ALCoV (Y. Gérard, statutaire, 36 ; C. Samir, statutaire, 36 ; JM Favreau, statutaire, 48)
 - CAVITI (A Albouy-Kissi, MCU, 36 ; B Albouy-Kissi, MCU, 24 ; M Chevaldonné, MCU, 24 ; V Sauvage, MCU, 36 ; J.-L. Toutant, MCU, mutation, 24)
 - IGCNC (L Sakka, doctorant, statutaire, 24 ; B Pereira, statutaire, 24 ; Y Gérard, statutaire, 6 ; E Chabert, statutaire, 12 ; C Bonhours, statutaire, 24)
 - PEPRADE (Pierre Philippe 33, Jean-Jacques Moulin 24)
- ✓ *Nombre de recrutements réalisés au cours de la période considérée et origine des personnels*
 - ALCOV : aucun
 - CAVITI : Jonathan Courbon (MCU, CNU 27), Manuel Grand-Brochier (MCU, CNU 27), Flavien Paccot (PRAG), Nicolas Combaret (PH cardiologie), Romain Eschaliere (PH cardiologie), Guillaume Clerfond (CCA cardiologie), Charles Vorilhon (CCA cardiologie)

- IGCNC : Adrien Wohrer (MCU, CNU 26)
- PEPRADE : Marie Blanquet (PH, CNU 46, Anne Debost-Legrand, CCA, CNU 46)

Equipements spécifiques / Plateformes

Les principales plateformes sont situées sur le site de l'hôpital G Montpied, du Centre Jean Perrin et de l'UFR de Médecine : au Bâtiment des 3C, le CICE, Laparolab et Cathlab ; sur le site de l'IRM du CHU, l'IRM recherche (3T et 1.5T) ; au CJP, imagerie métabolique Pet-Scan (F Cachin).

L'ensemble des équipes ont systématiquement accès aux plateaux médicotechniques de soins et de diagnostic du CHU de Clermont-Ferrand (Hôpitaux G Montpied et Estaing) pour des aspects méthodologiques et technologiques, ainsi que lors des études cliniques.

Projets collaboratifs académiques

La reconfiguration ne permet pas de décrire de programmes communs (voir les bilans propres). Le projet TGI, qui deviendra un 5e Axe de l'Institut Pascal est spécifié dans la section Projet/Perspective (section 3).

Production scientifique

La production du groupe TGI est synthétisée dans le tableau suivant :

	ACL champ scientifique	ACL hors champ scientifique	INV	OS - DO	TOTAL
ACL - INV - OS - DO	221	443	188	26	878
	INV	COM	AFF	-	TOTAL
ACT - COM - AFF	437				437

ACL champ scientifique : préciser

ACL hors champ scientifique :

ACL-ASCL-ACLN (champs scientifique)	1er quantile	
	n	%
ALCOV	31	55%
CAVITI	14	21%
IGCNC	8	35%
PEPRADE	15	16%
Total TGI	68	29%
Total IF >10	3	1,2%
Total IF > 5	20	8,6%
Total IF > 3	44	18,9%

✓ Quatre publications majeures de l'entité

- Collins T, Pizarro D, Bartoli A, Bourdel N, Canis M. Computer-Aided Laparoscopic Myomectomy by Augmenting the Uterus with Pre-operative MRI Data. ISMAR'14 - Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Munich, Germany, September 2014
- Kauffmann C, Motreff P, Sarry L, In Vivo Supervised Analysis of Stent Reendothelialization from Optical Coherence Tomography, IEEE Transactions on Medical Imaging, 2010
- Lemaire JJ, Golby A, Wells WM, Pujol S, Tie Y, Rigolo L, Yarmarkovich A, Pieper S, Westin CF, Jolesz F, Kikinis R. Extended Broca's Area in the Functional Connectome of Language in Adults: Combined Cortical and Subcortical Single-Subject Analysis Using fMRI and DTI Tractography. Brain Topography, 2013
- Debost-Legrand A, Laurichesse-Delmas H, Francannet C, Perthuis I, Lemery D, Gallot D, Vendittelli F: False positive morphologic diagnoses at the anomaly scan marginal or real problem? A population based cohort study. BMC Pregnancy Childbirth, 2014

✓ *Facteur h (all years) et taux de citation, de certains membres du groupe; score SIGPAS (2010-2015; nombre de publications) de ceux ayant une activité hospitalière*

ABERGEL A (gastroentérologie, responsable de service, MD PhD); h=28-22, 3224-2253 citations (WOS, POP); SIGAPS 351 (40).

BARTOLI A (CNU 27, PhD); h=24, 2040 citations (POP)

BOIRE JY (biostatistiques, PhD; responsable de service); h=17-21, 811-1395 citations (WOS, POP); SIGAPS 29 (5)

BOYER L (radiologie, MD PhD; responsable de service et chef de pôle), h=20-15, 1573-682 citations (WOS, POP); SIGAPS 360 (39)

CHABROT P (radiologie, MD PhD; responsable de l'Unité Fonctionnelle de Radiologie Interventionnelle); h=6-11, 187-432 citations (WOS, POP); SIGAPS 333 (32)

CANIS M (gynécologie, MD PhD; responsable de service); h=34, 3258-3291 citations (WOS, POP); SIGAPS 788 (69)

FESCHET F (informatique, PhD, VP-UDA jusqu'en 2012); h=8-14, 191-469 citations (WOS, POP)

GERBAUD L (santé publique, MD PhD, responsable de service); h= 12-19, 684-1948 citations (WOS, POP); SIGAPS 222 (26)

LEMAIRE JJ (neurochirurgie, MD, PhD, responsable de service et chef de pôle), h=22, 1169-1644 citations (WOS, POP); SIGAPS 296 (34)

LEMERY D (obstétrique, MD PhD, responsable de service et chef de pôle); h=18-20, 1055-1550 citations (WOS, POP); SIGAPS 191 (31)

LUSSON JR (cardiologie, MD, responsable de service); h=16, 872-945 citations (WOS, POP); SIGAPS 202 (27)

MOTREFF P (cardiologie, MD PhD, responsable de l'Unité de Soins Intensifs de Cardiologie); h=13-15, 705-1161 citations (WOS, POP); SIGAPS 488 (46)

RUIVARD M (médecine interne, MD PhD, responsable de service); h=16-19, 893-1472 citations (WOS, POP); SIGAPS 273 (31)

SARRY L (CNU 61, PhD, coresponsable master Technologies biomédicales, spécialité Technologie pour la Médecine); h=9-12, 279-538 citations (WOS, POP)

VENDITTELLI F (gynécologue obstétricienne, MD PhD, VP CME CHU); h=14-16, 522-961 citations (WOS, POP); SIGAPS 262 (25)

✓ *Logiciels, ressources, bases de données*

- Une des plus importantes bases de données d'examen endocoronaires par OCT en Europe; Une base de données multimodale d'examen cardiaques dynamique originale (IRM, TEMP, US) (CAVITI).
- Une des plus importantes bases de données cliniques intra et post opératoires (électrophysiologie et effets cliniques) en lien avec des objets anatomiques 3D du cerveau profond (IGCNC).
- Création du dossier périnatal partagé informatisé (base de données): Réseau de Santé Périnatale d'Auvergne; accès à la base de données nationale AUDIPOG (PEPRADE).

✓ *Brevets et code APP*

- ALCOV (APP: PIMS : IDDN.FR.001.160008.000.S.P.2015.000.31230; Laparaug : IDDN.FR.001.160007.000.S.P.2015.000.31230).

✓ *Corpus (exemples)*

- "Embolisation" Chabrot P et Boyer Louis Springer Ed 2012 et « Embolization » Chabrot P et Boyer Louis Springer International Ed 2013.
- Lemaire JJ. Related Circuitry and Synaptic Connectivity in Psychiatric Disorders. In Neurosurgical Treatments for Psychiatric Disorders. Eds. Bomin Sun, Antonio DeSalles. Shanghai Jiao Tong University Press, Shanghai and Springer Science and Business Media Dordrecht, 2015.

Rayonnement / Attractivité / Distinctions scientifiques

✓ *Quatre éléments résumant le potentiel de l'axe TGI*

- ERC - Starting Consolidator Grant FLEXABLE (ALCOV).
- Coordination du projet ANR 3DStrain (CAVITI).
- Organisation en 2012: First International Symposium on Deep Brain Connectomics, Clermont-Ferrand, DBC2012 (IGCNC).
- HDR = Personnalités qualifiées aux instances nationales de l'échographie obstétricale et de la santé périnatale (PEPRADE).

✓ Programmes de recherche

Programmes		n
Européen	ERC	1
	Hors ERC	2
National	ANR	4
Régional	Nouveau chercheur/AO interne CHU/fondation	10
Applicatifs	Industrie/STIC/PHRC national et régional	30
Total TGI		47

✓ Prix et Distinctions

- 5 bourses (4CAVITI + 1 IGCNC)
- 6 communications primées (CAVITI)
- 1 ouvrage primé (CAVITI)
- 1 outstanding reviewer (x 2; ALCOV)

✓ Jury thèses-HDR

- Thèses : 56 (20 ALCOV, 23 CAVITI, 4 IGCNC, 9PEPRADE)
- HDR : 14 (2 ALCOV, 7 CAVITI, 2 IGCNC, 3 PEPRADE)

✓ Comités éditoriaux / Comités de lecture

Comité Editorial	Comité de Lecture
# A. Bartoli : Associate Editor de la revue Electronic Letters in Computer Vision and Image Analysis (ELCVIA), depuis Juillet 2013 et du IET Computer Vision Journal, depuis Janvier 2012	#Fertil Steril, Human Reproduction, J Surgery, Gynecologic Oncology, J Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction, Gynécologie Obstétrique et Fertilité (ALCOV)
# M. Canis : Editorial Board member Fertility and Sterility et J of Gynecologic Surgery ; Elect Board member (2015, 2016) of AAGL (American Association of Gynecologic Laparoscopists)	# relectures pour les congrès et revues principaux de vision par ordinateur et analyse d'images médicales (ALCOV)
# S Matsuzaki : Associate Editor Human Reproduction	#IEEE Transactions on Medical Imaging, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Innovation and Research in BioMedical engineering, IET CVI, Journal of Biomedical Optics, Pattern Recognition Letters, Computer Methods and Programs in Biomedicine (ALCOV)
#A Abergel: World Journal of gastroenterology	#Journal of vascular and interventional radiology, Cardiovascular and Interventional radiology, European radiology, Diagnosis and interventional radiology (CAVITI)
# L Boyer : Journal de Radiologie	#Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI), Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC), International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), Journées Françaises de Radiologie, Congrès de la Cardiovascular and Interventional Society of Europe (CAVITI)
#JJ Lemaire : Neurochirurgie depuis 2012; Surgical Neurology International (section functional neurosurgery): depuis 2012	#Nature (Molecular Psychiatry); Human Brain Mapping; Neurosurgery; NeuroImage; Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry ; Medical Imaging Analysis; PLOS One; Clinical Neuroradiology (IGCNC)
#D Lemery : J de Med Périnat jusque en 2012	# Pattern Recognition (IGCNC)
	#Eur J Obst Gynecol Reprod Biol; Ultrasound Obstet and Gynecol; J Gyn Obst Biol Reprod. Gyn Obst Fertil (PEPRADE)

✓ *Leaderships, expertises*

Nombreux leaderships et expertises dans les domaines scientifiques et les thèmes applicatifs (section 2.2, description des thèmes).

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Ces quatre éléments sont résumés pour mesurer le potentiel du groupe TGI.

- Contrats industriels avec Almerys et Quantel Médical (ALCOV), BrainLab (IGCNC), Supersonic Imagine (PEPRADE).
- Création de startups (CAVITI) : (1) Catopsys : valorisation des résultats du projet ANR Catopsys coordonné par L Sarry entre 2006 et 2010 et du brevet WO2009022087 A3 publié en 2009 et dont les extensions PCT ont commencé en 2010 ; lauréat 2013 du Concours National d'Aide à la Création d'Entreprises de Technologie Innovante dans la catégorie Création ; (2) Reoviz (M Chevaldonné).
- Centres de compétences maladies vasculaires rares (CAVITI) ; Réseau de Recours pour patients cérébrolésés graves (IGCNC).

Formation

✓ *Encadrements*

22 doctorants ; 29 M2 ; 33 M1

✓ *Formations*

- Master spécialité Technologie pour la Médecine (M1&M2, resp. L Sarry, UdA) : responsable UE connaissances médicales par organe (JJ Lemaire), responsable parcours médecins (L Boyer).
- M2 Sciences chirurgicales, option neurosciences (Paris XII) : UE Neurosciences cliniques guidées par l'image (JJ Lemaire).
- M2 Education et Santé Publique (UdA-EHESP-UBP-Lyon 1- St Etienne), spécialités "Evaluation en Santé", "Science du risque en santé" et "Education thérapeutique du patient" (L Gerbaud).
- Centre International de Chirurgie Endoscopique (CICE) : M Canis.

L'UMR 6284 CNRS UDA (ISIT) a l'agrément de l'Agence Régionale de santé Auvergne pour accueillir des internes de spécialité (cardiologie et maladies vasculaires; chirurgie cardiaque ; gynécologie obstétrique ; chirurgie viscérale et digestive ; chirurgie thoracique et cardio-vasculaire ; neurochirurgie) du CHU de Clermont-Ferrand (stage validant d'internat ; hors clinique).

2.1.5. Quatre réalisations majeures de l'Axe

Une réalisation phare caractéristique de chaque thème est sélectionnée.

- **Réalité augmentée temps-réel pour la coelochirurgie de l'utérus** (ALCOV/Computer-Aided Uterine Laparosurgery with Augmented Reality). Développement d'un prototype de guidage du geste, permettant de visualiser les tumeurs et structures anatomiques invisibles en exploitant l'imagerie préopératoire par réalité augmentée.
- **Méthodes et outils d'analyse, de quantification et de suivi des prothèses endocoronaires par Tomographie par Cohérence Optique** ; méthodes et outils de quantification des déformations (strain) et de la phase de contraction myocardique en imagerie dynamique 3D multimodale (CaVITI).
- **Cartographie cérébrale profonde directe** (IGCNC). Transfert de données cliniques pour développements industriels en cours ; intégration de données PET-CT; reconstruction d'images IRM ; applications en pathologies génétiques de la myéline et ciblage clinique de patients cérébrolésés.
- Evaluation, sous un angle médical (pratiques et imagerie), médico-économique et sociologique, des **facteurs environnant la grossesse, l'accouchement et la période néonatale** (PEPRADE).

2.1.6. Analyse SWOT

Forces

- Reconfiguration rationnelle autour d'une thématique scientifique ciblée des entités constituantes.
- Interdisciplinarité (définition HCERES : entre deux domaines Sciences de la Vie et Sciences et Technologies).
- Plateaux techniques : 3C / IRM 3T-1.5T (recherche / macroscopique).
- Immersion des acteurs dans des structures de soin du CHU de Clermont-Ferrand.

Faiblesses

- Coordination récente du groupe et intégration récente.
- Environnement médico-économique incertain en France.
- Besoin de partenariat pour l'évaluation à l'échelle cellulaire (e.g. biocompatibilité).
- Besoin de rationaliser le nombre projets dans le cadre de la reconfiguration.

Opportunités

- Intégration dans l'Institut Pascal par la création d'un 5e Axe.
- Intégration d'une grande région (Rhône-Alpes-Auvergne) où les entités de recherche en technologies médicales ont un fort potentiel fédératif.
- Création de l'Université Clermont Auvergne (Université d'Auvergne et Université Blaise Pascal) en 2016.
- Fort potentiel médico-économique des technologies médicales.

Risques

- Positionnement d'un axe interdisciplinaire dans un environnement général (choix stratégiques nationaux) peu lisible.
- Manque de relais dans le tissu industriel régional en Auvergne.

2.2. Réalisations

Les réalisations sont décrites par thème du groupe TGI.

2.2.1. Thème ALCoV

Personnels

Armand ABERGEL (PU1-PH-HDR, MD, PhD, Uda, CHU), **Adrien BARTOLI** (PU2-HDR, PhD, 27, Uda), Revaz BOTCHORISHVILLI (PHU, MD, CHU), Nicolas BOURDEL (MCUPH, MD, Uda, CHU), Emmanuel BUC (PU-PH, MD, Uda, CHU), **Michel CANIS** (PU-PH-HDR, MD, PhD, Uda, CHU), Sachiko MATZUSAKI (MCU-HDR, MD, PhD, Uda), Laurent POINCLOUX (PH, CHU)

Associés

David DA INES (radiologue, Clinique de La Chataigneraie à Beaumont), Daniel PIZARRO (MCU, PhD, Université d'Alcalà), Benoît RABISCHONG (PU-PH, MD, PhD, Uda, CHU), Jean-Luc POULY (PU-PH, MD, PhD, Uda, CHU)

Doctorants

Thèses soutenues (4) (financement et date de soutenance), en vision par ordinateur et interdisciplinaire : Amira BEL-HEDI (CEA, juin 2013), Jim BRAUX-ZIN (CEA, sept. 2014), Ludovic MAGERAND (MESR, déc. 2014), Amir YAVARIABDLI (Région, juin 2014)

Thèses en cours (7) (financement et date de début), en vision par ordinateur et interdisciplinaire : François CHADEBECQ (ANR SYSEO, mars 2011), Ajad CHHATKULI (ERC FLEXABLE, sep. 2013), Mathias GALLARDO (ERC FLEXABLE, sep. 2014), Souheil HADJ SAID (CEA, avr. 2015), Alexandre MORGAND (CEA, nov. 2014), Shaifali PARASHAR (ERC FLEXABLE, sep. 2014), Kristina PROKOPETC (CIFRE, sep. 2014). *En gynécologie :* Nicolas BOURDEL (CHU)

Post-Doc (PD) & Personnels Contractuels

(statut, [titre], financement, durée) Pablo ALCANTARILLA (Postdoc, PhD, ANR SYSEO, 1 an), Julia ALLIROT (Gestionnaire projet, ERC FLEXABLE, 1,5 ans), Natalia ALVES DE OLIVEIRA VAZ (Gestionnaire projet, ERC FLEXABLE), Toby COLLINS (Chercheur, industrie, 3 ans), Rahat KHAN (Postdoc, PhD, ERC FLEXABLE), Jae-Hak KIM (Postdoc, PhD, Région, 1 an), Abed MALTI (Postdoc, PhD, Région, 2,5 ans), Pablo MESEJO (Postdoc, PhD, ANR SYSEO, 1 an), Anne ROCHETTE (Attachée Recherche Clinique, CHU)

Collaborateurs administratifs

Sylvie ROUX (ISIT, Uda, CHU)

Identité scientifique

L'équipe **ALCoV (Advanced Laparoscopy and Computer Vision)** a été créé ex-nihilo le 1er janvier 2012 au sein de l'UMR CNRS / Uda ISIT et a été notée A+ par l'AERES.

ALCoV est interdisciplinaire : elle relève des domaines scientifiques des sciences du vivant et environnement (SVE), domaine disciplinaire biologie/santé, et des sciences et technologies (ST), domaine disciplinaire sciences et technologies de l'information et de la communication. Les sections CNU correspondantes des membres de l'équipe sont 27 pour A. Bartoli en vision par ordinateur.

La recherche d'ALCoV est organisée en trois composantes : une composante fondamentale en vision par ordinateur, une composante clinique en chirurgie gynécologique, hépatique et en endoscopie digestive et une composante interdisciplinaire en assistance au diagnostic et au geste chirurgical en endoscopie. La composante interdisciplinaire est à l'intersection des composantes fondamentale et clinique. Plus précisément, la composante interdisciplinaire vise à repousser certaines limites actuelles de l'endoscopie. Elle est définie par la confrontation entre des motivations cliniques et les potentialités de la vision par ordinateur. La composante interdisciplinaire est en lien étroit avec la pratique clinique de l'équipe. Elle interagit avec la composante fondamentale, en ce sens qu'elle pose des questions de recherche qui nécessitent de nouveaux développements théoriques et algorithmiques. La partie fondamentale est particulièrement bien adaptée pour répondre aux problèmes cliniques identifiés. ALCoV est un assemblage de trois composantes qui se nourrissent les unes les autres :

- **Composante vision par ordinateur.** La spécificité est la vision pour les objets déformables, incluant les organes et tissus observés par endoscopie. L'équipe a été pionnière sur le recalage d'images et la reconstruction 3D de surfaces déformables. Ces thèmes sont à la base de la réalité augmentée pour les objets déformables, et implique de redéfinir les théories et techniques existantes spécifiques aux objets rigides.
- **Composante clinique.** Les spécialités sont la chirurgie endoscopique coelioscopique et hystéroscopique, particulièrement dans le domaine de l'endométriome, des myomes, des prolapsus et du cancer gynécologiques mais aussi la chirurgie hépatique.

- **Composante interdisciplinaire.** ALCoV met en œuvre la Réalité Augmentée en coeliochirurgie. Les buts cliniques sont à la fois la facilitation des gestes chirurgicaux et la diminution des complications et des séquelles de la chirurgie. La vision endoscopique a globalement amélioré la vision chirurgicale. Cependant cette amélioration se fait au détriment de la vision 3D et surtout de la perte de la palpation qui permettait au chirurgien de mieux préciser les limites de la maladie. Les endoscopes stéréoscopiques ou les techniques de reconstruction 3D par ordinateur pourraient permettre de résoudre le problème de la vision 3D. Par contre pour le moment la palpation n'est pas remplacée en clinique. La réalité augmentée devrait permettre de combler cette difficulté de manière indirecte. L'idée clef est celle de la transparence virtuelle. En d'autres termes, de pouvoir visualiser les structures internes des organes telles les tumeurs directement sur le flux vidéo du coelioscope. Les informations sont importées d'images IRM préopératoires. ALCoV développe de même des outils d'aide au diagnostic par recalage d'image pour des pathologies comme l'endométriome et par reconstruction 3D pour la mesure taille de polypes en endoscopie digestive.

Organisation et vie de l'entité

ALCoV fonctionne au travers de réunions réunissant l'ensemble des personnels tous les mois ou tous les deux mois et au travers de réunions hebdomadaires par sous-projets. Chaque année, des journées au vert hors site sont organisées, qui rassemblent toute l'équipe pour faire le point sur l'année écoulée et discuter collectivement pour résoudre les difficultés et affiner les directions de recherche. Ces journées sont typiquement l'occasion d'inviter un intervenant extérieur qui vient présenter son travail à l'équipe et fournir un éclairage sur les travaux en cours.

ALCoV est hébergée au bâtiment 3C de la Faculté de Médecine et au CHU Estaing (ou NHE). Les fondamentalistes de l'équipe dispose d'un bureau au sein des blocs opératoires, facilitant la mise en œuvre des prototypes en cours de développement. Le bâtiment 3C est un lieu idéal car il est partagé entre autres avec le CICE, avec qui ALCoV entretient de nombreuses relations, dont l'enseignement et le test de prototypes sur plateformes animales.

Outre les plateformes du CICE et le bloc opératoire, ALCoV dispose de sa propre plateforme spécialisée nommée Laparolab. Elle contient entre autres un scanner 3C, de nombreux capteurs optiques, des endoscopes et plusieurs phantoms d'organes pelviens et abdominaux. ALCoV est par ailleurs en lien avec le service de radiologie pour les images préopératoires utilisées en réalité augmentée peropératoire (Pr Louis Boyer).

ALCoV développe un système d'anonymisation des données médicales et de signature de formulaires de consentement éclairé. De nombreuses données ont déjà été collectées sous ce protocole.

ALCoV dispose d'une page web sur le site de l'ISIT (isit.u-clermont1.fr/fr/team/ALCOV) et d'une page web plus spécifique (isit.u-clermont1.fr/~ab).

Contexte

ALCoV conduit une recherche de pointe en vision par ordinateur, en coeliochirurgie et interdisciplinaire. Les problèmes cliniques définissant les travaux interdisciplinaires requièrent de nouvelles méthodes fondamentales de vision par ordinateur, en recalage d'image radiologiques 3D vers la vue coelioscopie et en suivi et reconstruction 3D d'objets déformable. ALCoV a été pionnier dans ce domaine fondamental et applicatif interdisciplinaire. L'association entre des spécialistes de la vision par ordinateur et des chirurgiens est rare. Les retombées cliniques potentielles sont importantes.

Vision par ordinateur. ALCoV mène des recherches principalement sur le recalage et la reconstruction 3D des surfaces déformables à partir d'un capteur visuel monoculaire. C'est un sujet difficile car de nombreux outils issus de l'étude des objets rigides, notamment le « Shape-from-Motion » (SfM) ne sont plus utilisables (notamment la géométrie multi-vues : la matrice fondamentale, le tenseur trifocal, etc, qui doit être repensée dans le contexte des déformations). De manière similaire, la plupart des modèles de recalage ne sont plus utilisables (par exemple les homographies induites par un plan). Pour aborder ces problèmes, ALCoV a apporté des contributions fondamentales, méthodologiques et algorithmiques. Ces travaux sont soutenus par le conseil Européen de la recherche au travers du financement ERC FLEXABLE (2013-2017). L'extension directe du SfM au cas des objets déformables (Bregler et al, CVPR 2000) est nommée Non-Rigid SfM (NRSfM). Le NRSfM suppose peu de connaissance a priori sur l'objet à reconstruire, et nécessite un flux vidéo comme donnée d'entrée. Il reste à l'heure actuelle un sujet de recherche fondamental très ouvert.

Des questions importantes comme le recalage et la géométrie multi-images restent en suspens. ALCoV participe aux recherches sur le NRSfM, ainsi que plusieurs autres équipes internationales, notamment celle de Lourdes Agapito à University College London. Cependant, ALCoV a développé un concept différent, permettant de résoudre la reconstruction 3D d'objets déformables à partir d'une seule image. Ce concept est nommé « Shape-from-Template » (SfT) (Bartoli et al, PAMI 2015). Il est particulièrement bien adapté à la réalité augmentée sur objets déformables, et forme un élément essentiel des applications cliniques interdisciplinaires de l'équipe. Le SfT utilise un patron de l'objet à reconstruire, contenant, outre une forme 3D, une loi de déformation. Le SfT combine la détection de l'objet dans l'image avec des contraintes géométriques pour réaliser la reconstruction 3D. Le NRSfM n'inclut pas la notion de détection. La détection d'objet et la reconstruction 3D sont naturellement combinées dans le système visuel humain mais peu de recherches en vision par ordinateur exploitent leur interdépendance à l'heure actuelle. D'autres équipes internationales travaillent sur le SfT, notamment celle de Pascal Fua à l'EPFL.

L'activité de recherche clinique s'intéresse à la physiopathologie de l'endométriose et du péritoine en péroopératoire. Cet axe travaille notamment sur la physiopathologie de la fibrose dans l'endométriose et l'interaction entre ce tissu et les tissus sur lesquels ils se développent. Cette interaction est importante pour améliorer la lecture des images car elle conditionne la nature des tissus qui apparaissent à l'interface entre l'endomètre et les tissus avoisinants. De cette structure dépendent en particulier les modifications anatomiques et les déformations qui se constituent autour des lésions.

Les recherches interdisciplinaires d'ALCoV portent sur l'assistance au diagnostic et au geste en chirurgie coelioscopique et en coloscopie. L'endoscopie est bien adaptée à la vision par ordinateur car un endoscope peut être assimilé à une simple caméra. Il peut être modélisé précisément par les modèles classiques de vision 3D. Au-delà de ces considérations techniques, l'endoscope et l'écran forment une interface entre le médecin et le patient. Tout ajout d'information sur l'image forme donc un outil potentiellement utile au traitement.

- **Assistance au geste en coelochirurgie utérine par réalité augmentée.** La réalité augmentée est le concept clef permettant d'ajouter de l'information sur l'image, mais requière de résoudre des problèmes fondamentaux durs. La potentialité est à la mesure de la difficulté. L'IRCAD de Strasbourg est un des instituts leader du domaine. Ses chercheurs ont proposé un système permettant à un opérateur de recaler manuellement une image radiologique préopératoire sur la vue coelioscopique en chirurgie hépatique (Nicolau et al, Surg. Onc. 2011). Cette technique est contraignante car un opérateur est requis, pour produire un recalage statique valide pour une seule image. ALCoV propose un système différent pour la coelochirurgie utérine, dans lequel l'augmentation est effectuée en temps réel sur le flux vidéo coelioscopique. Ce système a nécessité de résoudre le recalage entre l'IRM et la coelioscopie, le suivi de l'utérus et la détection automatique de repères anatomiques. Le système est en cours de déploiement au bloc opératoire du CHU Estaim. Son développement est soutenu par la société Alмерыs.
- **Vision 3D en coelioscopie sans stéréoscopie.** Les recherches en reconstruction 3D temps réel en coelioscopie sont importantes. Les coelioscopes stéréoscopiques répondent à ce problème mais sont extrêmement peu déployés de par leur coût élevé. ALCoV a cherché une solution pour la vision 3D à partir d'un coelioscope monoculaire standard, par la reconstruction 3D temps réel en utilisant l'ombrage. ALCoV a reçu le prix du meilleur article au congrès IPCAI 2012 (Collins et al, IPCAI 2012). Ces recherches sont encore très actives. ALCoV participe à un consortium international visant à comparer les techniques de reconstruction 3D en coelioscopie (Maier-Hein et al, MIA 2013 et TMI 2014).
- **Assistance au diagnostic en coloscopie par mesure 3D interactive.** Le diagnostic des polypes observés en coloscopie se base sur plusieurs types de critères : la forme, la couleur, la texture, la taille. Le diagnostic vise à déterminer si l'état du polype nécessite une polypectomie. La taille est un critère important, qu'il est parfois difficile d'apprécier quantitativement à partir de l'image monoculaire renvoyée par le coloscope. ALCoV a proposé le premier outil permettant de réaliser une mesure 3D de la taille d'un polype interactivement (Chadebecq et al, MIA 2015 ; Alcantarilla et al, EMBC 2013). D'un point de vue pratique, le système développé donne au médecin la possibilité de geler l'image vidéo et de mesurer des distances et aires entre des points placés avec la souris. Ces travaux ont été soutenus par l'ANR dans le cadre du projet SYSEO et effectués en collaboration avec l'Institut Pascal (Christophe Tilmant) et les Hospices Civils de Lyon (service du Pr Thierry Ponchon).
- **Assistance au diagnostic préopératoire de l'endométriose par recalage multimodal.** L'endométriose est une maladie répandue. Elle se manifeste par la présence de nodules dans la cavité abdominale qui doivent parfois être enlevés chirurgicalement. Le diagnostic est effectué à l'aide de l'échographie, qui permet de caractériser le niveau d'infiltration des nodules dans le tissu hôte. Cette profondeur d'infiltration est importante pour le déroulement de la chirurgie. Cependant, les informations renvoyées par l'échographie sont difficiles à localiser dans l'anatomie

globale de la patiente. ALCoV a proposé un outil permettant de résoudre cette difficulté en recalant l'information issue de l'échographie sur un volume IRM (Yavariabdi et al, CMIG 2015).

Réalisations

Les réalisations 2012-2015 sont listées et décrites succinctement pour la vision par ordinateur, la clinique et l'interdisciplinaire. Pour chaque réalisation les collaborations sont indiquées. Les citations ne sont pas exhaustives : les revues sont privilégiées aux congrès, et seule la publication principale est citée. Le lecteur pourra se référer au livret des fiches scientifiques (Scientific Achievements) pour l'illustration scientifique des réalisations.

Vision par ordinateur

- Introduction du Shape-from-Template (SfT), une approche de la reconstruction 3D mono-image à partir d'un patron de l'objet observé et d'une loi de déformation
 - Théorie et algorithmes sur la reconstructibilité (Bartoli et al, PAMI 2015 ; Collins et al, IJCV 2014 ; Brunet et al, CVIU 2014)
 - Algorithme de recalage d'images spécifiques au recalage patron-image (Pizarro et al, IJCV 2012 ; Braux-Zin et al, BMVC 2013)
 - Conception d'un premier prototype de système complet pour les grands déplacements et les objets minces en déformation isométrique (Collins et al, ECCV 2014)
 - Etude avancée des objets minces en déformation isométrique, étude des objets épais en déformation presque-isométriques, étude des objets minces en déformation conforme (Bartoli et al, PAMI 2015) et élastique linéaire (Malti et al, CVPR 2013 ; Malti et al, CVPR 2015), étude des objets unidimensionnels en déformation isométrique (Gallardo et al, CVPR 2015)
 - Etude de la stabilité des estimateurs locaux de profondeur et d'orientation en fonction du type de projection (Chhatkuli et al, CVPR 2014)
 - Etalonnage en ligne de la distance focale (Bartoli et al, CVPR 2013 ; Bartoli et al, ICCV 2013)
 - Modélisation explicite de la transformation patron-image (Pizarro et al, BMVC 2013)
 - Algorithme pour la reconstruction à partir d'une base de données de patrons (Alcantarilla et al, BMVC 2012)
- Etude théorique et algorithmique du Non-Rigid Shape-from-Motion (NRSfM), une approche de la reconstruction 3D multi-images-monoculaires à partir d'une loi de déformation
 - Isométrie (Chhatkuli et al, BMVC 2014)
- Etude théorique et algorithmique du recalage d'image mono-modal de surfaces déformables
 - Etude d'un lisseur localement projectif pour le recalage d'image (Khan et al, ECCV 2014)
 - Nouvel algorithme de recalage d'image par optimisation de graph (Collins et al, ECCV 2014)
 - Recalage par combinaison du flot optique dense et de correspondances de points et segments éparses (Braux-Zin et al, ICCV 2013) (avec le CEA)
- Autres travaux
 - Etude théorique et algorithmique de la correction optimale des modèles de caméra affines (Bartoli et al, CVIU 2015)
 - Etude théorique et algorithmique de la modélisation computationnelle, de la reconstruction 3D et de la synthèse géométrique des feuilles de papier (Perriollat et al, CAVW 2013)
 - Etude théorique et algorithmique du problème de Procrustes généralisé (Bartoli et al, IJCV 2013)
 - Théorie de la détection multi-échelle de points par filtrage non-linéaire (Alcantarilla et al, BMVC 2013 ; Alcantarilla et al, ECCV 2012)
 - Mesure 3D profilométrique par lumière structurée sur chaîne de montage (Schroeder et al, SCIA 2013) (avec VITechnology)
 - Etalonnage d'un système combinant un écran transparent et des caméras à champs non-recouvrants (Braux-Zin et al, 3DIMPVT 2012) (avec le CEA)
 - Système d'étalonnage des capteurs Temps-de-Vol (Bel-Hedi et al, BMVC 2012 ; Bel-Hedi et al, ICIP 2012) (avec le CEA)
 - Algorithme d'estimation par optimisation polynomiale global de la matrice fondamentale avec une contrainte de rang (Bugarin et al, JMIV 2014) (avec l'Ecole des Mines d'Albi)
 - Algorithme de reconstruction 3D d'un fluide en écoulement dans une cellule de Hele-Shaw (Brunet et al, ETFS 2013) (avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse)

- Calcul de pose dynamique avec un capteur de type rolling-shutter (Magerand et al, ECCV 2012) (avec l'Institut Pascal)
- Sélection automatique de la complexité des déformations image (Compte et al, WBIR 2012).

Clinique : chirurgie gynécologique

- Evaluation des résultats du traitement coeliosurgical de l'endométriose sévère
- Etude de la chirurgie des prolapsus
- Etudes des effets sur la physiologie péritonéale et les suites opératoires de la pression intrapéritonéale pendant la chirurgie endoscopique
- Physiopathologie de l'endométriose
- Physiopathologie péritonéale per opératoire
- Evaluation de nouvelles méthodes de réalisation de la chirurgie gynécologique

Interdisciplinaire : assistance au diagnostic et au geste chirurgical en endoscopie

- Théorie et algorithme permettant la mesure 3D interactive de la taille des polypes en coloscopie (Chadebecq et al, MIA 2015) (avec l'Institut Pascal et les Hospices Civils de Lyon)
- Algorithme de reconstruction 3D en coloscopie (Alcantarilla et al, EMBC 2013) (avec les Hospices Civils de Lyon)
- Algorithmes pour la reconstruction 3D en coelioscopie combinant SfT et SfS (Malti et al, TBME 2014), par polarisation (Martinez-Herrera et al, ISBI 2013) (avec le Le2i), par stéréophotométrie (Collins et al, MICCAI 2012) et par SfS (Collins et al, IPCAI 2012)
- Etude sur l'apport de la vision par ordinateur 3D et la réalité augmentée en chirurgie coelioscopique utérine (Bartoli et al, Med. Hyp. 2012)
- Algorithme de détection et segmentation automatique de l'utérus en coelioscopie (Collins et al, MICCAI 2015 ; Prokopetc et al, IPMI 2015 ; Chhatkuli et al, ISBI 2014)
- Réalité augmentée pour la myomectomie par recalage IRM utérus vers coelioscopie (Collins et al, ISMAR 2014 ; Collins et al, MIAR 2013)
- Aide au diagnostic de l'endométriose par recalage échographie vers IRM (Yavariabdi et al, CMIG 2015)
- Participation à une étude sur la reconstruction 3D en coelioscopie (Maier-Hein et al, TMI 2014 ; Maier-Hein et al, MIA 2013) (avec le DKFZ, centre Allemand pour la recherche contre le cancer)
- Participation à une étude globale sur le traitement et le stockage des images multimédia en coloscopie (d'Orazio et al, IRBM 2014) (projet ANR TecSan Syseo).

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#81	Shape-from-Template (SfT)
#82	Seeing in 3D in Monocular Laparoscopy
#83	Computer-Aided Uterine Laparosurgery with Augmented Reality
#84	Laparoscopy-like operative vaginoscopy

Production scientifique

Le domaine de la vision par ordinateur dispose de revues bien identifiées et sélectives. Il utilise aussi beaucoup les congrès, qui donnent lieu à de véritables publications. Les principaux congrès sont ICCV, CVPR, ECCV et BMVC. Ils sont sélectifs : les taux d'acceptation sont compris entre 20% et 30%. Nous avons publié essentiellement dans ces congrès, ainsi qu'au congrès principal de réalité augmentée ISMAR et aux congrès principaux d'analyse d'images médicales pour nos travaux interdisciplinaires, MICCAI, ISBI, IPMI et IPCAI. Ceux-ci ont des taux légèrement plus élevés.

Le bilan des publications 2010-2015 montre une production importante sur les meilleures revues et congrès en vision par ordinateur et en gynécologie. On note une production croissance en interdisciplinaire. Cette production n'a été mise en place qu'au cours du quinquennat, peu après la création de l'équipe en 2012.

Publications dans des journaux et revues, communications orales, ouvrages et logiciels sur la période 2010 - Mai 2015	Nombre
<p>ACL-ASCL-ACLN champs scientifique</p> <p><u>Vision par ordinateur (12)</u> PAMI (Q1 ; 5,694) IJCV (Q1 ; 3,533) x5 JMIV (Q1 ; 1,552) ETFS (Q1 ; 2,08) CVIU (Q2 ; 1,358) x2 IETCV (Q2 ; 0,9669) IRBM (Q4 ; 0,380) <u>Interdisciplinaire (6)</u> TMI (Q1 ; 3,799) MIA (Q1 ; 3,681) x2 TBE (Q2 ; 2,233) CMIG (Q3 ; 1,496) Med. Hyp. (Q4 ; 1,152) <u>Clinique (38)</u> Hum Reprod Update (Q1 ; 8,847) x 1 J Clin Endocrinol Metab (Q1 ; 6,43) x1 Hum Reprod (Q1 ; 4,670) x 8 Int J Health Geogr (Q1 ; 1,97) x 1 Fertil Steril (Q1 ; 4,174) x 4 BJOG (Q1 ; 3,760) x1 PLoS One (Q1 ; 3,730) x 2 Surg Endosc (Q1 ; 3,427) x 2 Gynecol Oncol (Q2 ; 3,929) x 1 Front Biosci (Q2 ; 3,286) x 2 J Surg Res (Q2 ; 2,018) x 1 Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol (Q2 ; 1,843) x 2 Clin Radiol. (Q2 ; 1,818) x 1 Int J Med Robot CAS (Q2 ; 1,526) J Minim Invasive Gynecol (Q3 ; 1,608) x 1 Prog Urol (Q4 ; 0,801) x 1 Gynecol Obstet Fertil (Q4 ; 0,553) x 4 J Gynecol Obstet Biol Reprod (Q4 ; 0,448) x 2 Mol Cell Ther (pas d'IF) Rev Esp Anesthesiol Reanim (pas d'IF)</p>	56
<p>ACL-ASCL-ACLN hors champ (cf. Axe TGI Production scientifique)</p>	128
<p>INV</p> <p>A. Bartoli</p> <ul style="list-style-type: none"> • ORASIS (Congrès des jeunes chercheurs en Vision par Ordinateur), 2015 (keynote) • Workshop on 3D Reconstruction for Dynamic and Non-Rigid Scenes, 2015 (invited) • Taking AR to the Next Level Workshop, 2014 (keynote) • European Workshop on Deformable Object Manipulation, 2014 (keynote) • Tutorial on Visual Tracking and 3D Reconstruction for Computer-Assisted Interventions, MICCAI, 2013 • BMVA Technical Meeting « Reconstructing a Dynamic World », 2013 (keynote) • Joint GdR ISIS/IG Meeting AC3D (Acquiring and Compressing 3D Objects), 2013 • SurVis – First International Workshop on Surgical Vision, at ICRA, 2013 (invited) • AVIESAN – Alliance Nationale pour les Sciences de la Vie et de la Santé, Meeting, 2012 (invited) • Annual Meeting of CNRS GdR IM (Informatique Mathématique), 2011 (invited) <p>R. Botchorishvili</p> <ul style="list-style-type: none"> • 9th International Conference On Recent Advances in Obstetrics, Gynecology & Infertility, 2015 • Argentine Congress of Gynecological Surgery, 2015 • 3rd Annual MESGE Congress in Conjunction with the 6th Annual Congress of TSGE, 2015 • 1st Congress of the Society of Endometriosis and Uterine Disorders, 2015 • 1st Meeting of the Gyneco-Endoscopy Club, 2015 • ESGE 23rd Annual Congress, 2014 • International Laparoscopic Anatomy Symposium, 2014 • 7th International Congress "Operative gynecology - advanced technologies", 2014 • International conference on pelvic prolapse, 2014 • International conference "What's new in endometriosis and gynecology", 2013 • ESGE 22rd Annual Congress, 2014 <p>S. Matsuzaki</p> <ul style="list-style-type: none"> • TM's 1st World Cancer Online Conference, 2012 	43

<ul style="list-style-type: none"> • Merck Anesthesiology Global Advisory Board Meeting, 2012 • World congress on Fertility & Antioxidants Therapy, 2012 • Networks in Anesthesiology, 2013 • MSD satellite symposium, 2013 • Surgical Humidification International Clinical Meeting, 2013 • Networks in Anesthesiology, 2014 <p>M. Canis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gynecological Cancer & Laparoscopic Approach: State of the Art, 2012 • 21st ESGE Annual Congress, 2012 • Xème Congrès de la S.C.G.P. 2012 • 6th International Scientific Congress - Operative Endoscopy Advanced Technologies, 2013 • Winter Meeting on Gynecological Endoscopy, 2015 • Congress on Diagnosis and treatment of Endometriosis, 2015 <p>B. Rabischong</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1st Congress on Teaching Minimal Invasive Therapies, 2012 • 21th Annual Congress of the ESGE, 2012 • 24th International Congress on Anti-Cancer Treatment (ICACT), 2013 • 42th AAGL congress, 2013 • ESGE congress, 2014 • 10th Congresso Nazionale SEGI, 2015 • 40th Meeting IUGA, 2015 • Journées Nationales du CNGOF, 2013 • Journées Nationales du CNGOF, 2014 	
<p>OS</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3D Shape Registration. U. Castellani and A. Bartoli. In 3D Imaging, Analysis, and Applications, Nick Pears, Yonghuai Liu, Peter Bunting (Eds.) - Publisher: Springer, 2012. 	1
<p>C-ACTI</p> <p><u>Congrès de premier plan en vision par ordinateur et réalité augmentée (25)</u> ICCV x3 ; CVPR x7 ; ECCV x6 ; BMVC x8 ; ISMAR x1 <u>Congrès de premier plan en interdisciplinaire (9)</u> MICCAI x2 ; ISBI x4 ; IPMI x1 ; IPCAI x2 <u>Autres congrès en vision par ordinateur (15)</u> 3DV x5 ; ICPR x1 ; ICIP x1 ; SCIA x1 ; ACCV x1 ; VMV x3 ; WMVC x1 ; Workshop ICCV/ECCV x2 <u>Autres congrès en interdisciplinaire (11)</u> EMBC x2 ; WBIR x2 ; MIUA x3 ; Workshop MICCAI x4</p>	60
<p>C-ACTN</p> <p><u>Vision par ordinateur et assimilés (16)</u> RFIA x4 ; ORASIS x6 ; CORESA x2 ; CFTL x1 ; FVR x1 ; FLUVISU x1 ; RITS x1</p>	16

Rayonnement et Attractivité académiques

ALCoV a un fort rayonnement national et international et une bonne attractivité académique sur ses trois axes de recherche. Ceci se traduit par des conférences invitées, des projets de recherche financés par les agences nationales et européennes et des collaborations nationales et internationales.

Travaux collaboratifs et investigateurs

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Européen	ERC - Starting Consolidator Grant	FLEXABLE	C	2013-2017	Vision par ordinateur : Géométrie et reconstruction 3D des objets déformables flexable.u-clermont1.fr
National	ANR - Technologie pour la Santé	SYSEO	P	2011-2014	Interdisciplinaire : acquisition, stockage, partage et analyse des images issues de l'endoscopie digestive
Local	PHRC		C	2011-2015	Clinique : effets in vitro du FH 535 sur les cellules endometriales et endometrioses

Etudes prospectives randomisées en cours enregistrées sur le site www.clinical.trial.gov

- Effet de la pression utilisée et de l'humidification du CO₂ sur la physiopathologie péritonéale péroopératoire (prolapsus).
- Comparaison de l'hystérectomie totale réalisée avec des instruments de 3 mm et avec des instruments de 5 mm (hystérectomie).

Collaborations se traduisant par des publications communes 2010-2015

National et Locorégional

- Ecole des Mines d'Albi et LAAS Toulouse
- Institut Pascal
- LIMOS Clermont-Ferrand
- Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse
- CEA Saclay

International

- DKFZ, centre Allemand pour la recherche contre le cancer
- Université Nationale d'Australie

Autres éléments

✓ Citations, facteur *h* des leaders scientifiques du thème (source WOS et POP) ; Score SIGPAS (2010-2015 ; nombre de publications) de ceux ayant une activité hospitalière
 BARTOLI A (CNU 27, PhD); *h*=24, 2013-2040 citations (POP).
 CANIS M (gynécologie, MD PhD ; responsable de service) ; *h*=34, 3258-3291 citations, (WOS, POP); SIGAPS 788 (69).

✓ Participations à des jurys de thèse et HDR

- A. Bartoli
 - Rapporteur HDR x2
 - Rapporteur PhD x18
 - Examineur PhD x2

✓ Prix et Distinctions

2015 - A. Bartoli, outstanding reviewer award at CVPR
 2014 - C. Compan et al, best paper award at ESGE
 2012 - T. Collins et A. Bartoli, best paper award at IPCAI
 2010 - A. Bartoli, outstanding reviewer award at CVPR

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
<p>Revues</p> <ul style="list-style-type: none"> • A. Bartoli : Associate Editor de la revue Electronic Letters in Computer Vision and Image Analysis (ELCVIA), depuis Juillet 2013 et du IET Computer Vision Journal, depuis Janvier 2012 • M. Canis : Editorial Board member Fertility and Sterility et J of Gynecologic Surgery ; Elect Board member (2015, 2016) of AAGL (American Association of Gynecologic Laparoscopists) • Sachiko Matsuzaki : Associate Editor Human Reproduction <p>Area Chair de congrès</p> <ul style="list-style-type: none"> • A. Bartoli : SCIA'15, ISMAR'15 (premier congrès de réalité augmentée) et ICCV'15 (premier congrès de vision par ordinateur) 	<p>Organisation et comité de programme</p> <ul style="list-style-type: none"> • A. Bartoli : General Chair pour 3DV 2010 • M. Canis : AAGL Trustee 2015 <p>Chair du comité de programme</p> <ul style="list-style-type: none"> • A. Bartoli : Workshops QU3ST à ECCV 2012 et NORDIA à CVPR 2011 <p>Membre du comité de programme</p> <ul style="list-style-type: none"> • A. Bartoli : toutes les éditions de ICCV, ECCV, CVPR, BMVC, 3DV notamment, les congrès principaux de vision par ordinateur • M. Canis : SCGP, ESGE 	<p>Referee</p> <ul style="list-style-type: none"> • A. Bartoli, T. Collins, D. Pizarro : relectures pour les congrès et revues principaux de vision par ordinateur et analyse d'images médicales • M. Canis : Fertil Steril, Human Reproduction, J Surgery, Gynecologic Oncology, J Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction, Gynécologie Obstétrique et Fertilité

✓ Expertises

- A. Bartoli : expert auprès de l'AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), 2015, l'ANCS (Romanian National Authority for Scientific Research) PCCA, 2011, l'ANR (ContInt 2010, CSOSG 2010, programme blanc 2010).
- M Canis : expert pour PHRC (DRCI du CHU de Clermont-Ferrand), AO Fondation Avenir, ANR.

Implication dans la formation par la recherche (2012-2015)

ALCoV est fortement impliqué dans la formation par la recherche avec 4 thèses soutenues et 6 thèses en cours côté vision par ordinateur et interdisciplinaire. ALCoV a aussi accueilli 6 postdocs et assimilés en vision par ordinateur sur la période.

- CICE - Centre agréé pour valider la certification Européenne en chirurgie endoscopique (validation reconnue par l'ESGE, le CNGOF et le collège Européen de gynécologie Obstétrique).
- Association comme équipe d'accueil au Master Erasmus Mundus VIBOT.
- Implication dans le Master TechMed de l'Université d'Auvergne.

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel (2012-2015)

Relations partenariales / Impacts

Almerys (contrat), Storz (soutien via CICE), Quantel Medical (CIFRE), VITechnology (CIFRE).

Analyse SWOT

Forces

- Prototype de recherche fonctionnel développé pour la réalité augmentée en coeliochirurgie gynécologique.
- Prototype de recherche développé pour la mesure 3D et la reconnaissance des polypes en coloscopie.
- Expertise unique et reconnue en vision par ordinateur pour les objets déformables.
- Expertise reconnue en coeliochirurgie gynécologique.
- Expertise reconnue et pratique de la coeliochirurgie hépatique.
- Activité clinique soutenue dans les spécialités concernées.
- Proximité du Centre International de Chirurgie Endoscopique (CICE).

Faiblesses

- Un seul membre permanent sur l'axe fondamental.

Opportunités

- Aucun système de réalité augmentée temps-réel en coeliochirurgie fonctionnel à l'heure actuelle.
- Aucun système de mesure 3D interactive ou d'assistance au diagnostic par l'image en coloscopie fonctionnel à l'heure actuelle.
- Rapprochement de l'Institut Pascal.
- Collaboration avec l'industriel Almerys.

Risques

- Non-titularisation des non-permanents sur l'axe fondamental.

2.2.2. Thème CaVITI

Personnels

Armando ABERGEL (PUPH1-HDR, MD, PhD, 52-01, UDA, CHU), Jean-Yves BOIRE (PUPHEX-HDR, PhD, 46-04, UDA, CHU), Louis BOYER (PUPHEX-HDR, MD, PhD, 43-02, UDA, CHU), Lionel CAMILLERI (PUPH1-HDR, MD, PhD, 51-03, UDA, CHU), Lucie CASSAGNES (MCUPH, MD, 43-02, UDA, CHU), **Pascal CHABROT** (PUPH2-HDR, MD, PhD, 43-02, UDA, CHU), Guillaume CLERFOND (CCA, MD, 51-02, CHU), Nicolas COMBARET (PH, MD, 51-02, CHU), Jonathan COURBON (MCU, PhD, 61, UDA), Romain ESCHALIER (PH, MD, PhD, 51-02, CHU), Jean-Marc GARCIER (PUPH1-HDR, MD, PhD, 42-01, UDA, CHU), Manuel GRAND-BROCHIER (MCU, PhD, 27, UDA), Christophe LOHOU (PU2-HDR, PhD, 27, UDA), Jean-René LUSSON (PUPHEX-HDR, MD, PhD, 51-02, UDA, CHU), Charles MERLIN (PH, MD, 43-01, CJP), Bruno MIGUEL (PH, MD, 51-03, CHU), Pascal MOTREFF (PUPH2-HDR, MD, PhD, 51-02, UDA, CHU), Flavien PACCOT (PRAG, PhD, 61, UDA), Emilie PERY (MCU, PhD, 61, UDA), **Laurent SARRY** (PU1-HDR, PhD, 61, UDA), Géraud SOUTEYRAND (PH, MD, 51-02, CHU), Antoine VACAVALANT (MCU, PhD, 27, UDA), Charles VORILHON (CCA, MD, 51-02, CHU)

Doctorants

Thèses soutenues (9) : Benjamin ASTRE (ANR Catopsys, MSc, Juin 2015), Kévin BIANCHI (CIFRE Keosys, MSc, Déc. 2014), Cindy CHAUVET (CIFRE Segami, MSc, Juil. 2011), Vincent COSTALAT (CHU, MD-MSc, Juin 2011), Paul DE VLIÉGER (CPER, MSc, Juil. 2011), Florian DUBUISSON (Alloc., MSc, Déc. 2012), Romain ESCHALIER (CHU, MD-MSc, Oct. 2013), Pawel LUBNIEWSKI (Alloc., MSc, Déc. 2014), Viateur TUYISENGE (ANR 3DStrain, MSc, Nov. 2014)

Thèses en cours (8) : Abder-Rahman ALI (Alloc., MSc, Janv. 2013), Olivier AMI (CHU, MD-MSc, Sept. 2010), Lucie CASSAGNES (CHU, MD-MSc, Sept. 2010), Jérémy COATELEN (CIFRE Histalim, MSc, Mars 2012), Ahmed DRAOUA (Région, MSc, Janv. 2015), Pierre-Yves MENGUY (Terumo, MSc, Déc. 2011), Laurent POINCLOUX (CHU, MD-MSc, Sept. 2012), Camille TEILHET (CHU, MD-MSc, Fév. 2013)

Post-Doc (PD) & Personnels Contractuels

Jules GORNY (Igr, MSc, 27, UDA)

Collaborateurs administratifs

Sylvie ROUX (ISIT, UDA, CHU)

Identité scientifique

Le thème **Cardio-Vascular Interventional Therapy and Imaging (CaVITI)** du groupe Thérapies Guidées par l'Image (TGI) était l'une des équipes de l'Institut des Sciences de l'Image pour les Techniques Interventionnelles (ISIT UMR 6284 Uda / CNRS) créée en janvier 2012.

L'équipe interdisciplinaire relève de deux domaines scientifiques : sciences du vivant et environnement (SVE), domaine disciplinaire biologie/santé ; sciences et technologies (ST), domaine disciplinaire sciences pour l'ingénieur et sciences et technologies de l'information et de la communication. Les sections CNU correspondantes des membres de l'équipe sont 27 (informatique), 61 (génie informatique, automatique et traitement du signal), et en santé 42-01 (anatomie), 43-02 (radiologie et imagerie médicale), 46-04 (biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication), 51-02 (cardiologie), 51-03 (chirurgie thoracique et cardio-vasculaire) et 52-01 (gastroentérologie).

Le champ scientifique est celui des techniques interventionnelles guidées par l'image, dans des domaines applicatifs cliniques liés aux pathologies cardio-vasculaires et viscérales. Les projets de recherche se focalisent sur la planification, l'aide à la réalisation et le suivi du geste interventionnel. Ils s'appuient d'une part, sur des compétences en imagerie et traitement d'images médicales, associées plus récemment à des compétences en perception et robotique, et d'autre part sur des interactions avec des activités cliniques mini-invasives utilisant différentes techniques d'imagerie, dont des techniques endovasculaires émergentes comme l'OCT (Optical Coherence Tomography).

Les sous-thèmes de recherche sont établis sur des bases cliniques reconnues :

- Imagerie endovasculaire par OCT. Les cardiologues du thème ont une expertise reconnue en OCT qui permet d'analyser la structure des endoprothèses (stents) et de la paroi des artères coronaires avec une très haute résolution ;
- Planification et guidage interventionnels des dissections de l'aorte ascendante : ce sous-thème a pour objectif de proposer des outils de planification et de guidage par l'image suffisamment précis et robustes pour pouvoir traiter ces lésions en interventionnel endovasculaire ;

- Embolisation parenchymateuse : ce sous-thème propose de nouveaux protocoles de chimio-embolisation des carcinomes hépatiques et des outils permettant d'objectiver la réponse tumorale associée ;
- Fonction myocardique régionale 3D : ce sous-thème s'appuie sur le projet ANR 3DStrain et propose un nouveau formalisme et de nouvelles interfaces pour calculer les déformations myocardiques (strain) de façon interactive.

Organisation et vie de l'entité

L'organisation administrative de CaVITI est mutualisée dans l'UMR ISIT (conseil de laboratoire suivi par les responsables de sous-thèmes). L'organisation fonctionnelle repose sur des réunions hebdomadaires des sous-thèmes pour réaliser le suivi des projets et définir les perspectives de recherche.

La structure s'appuie sur un important plateau médicotéchnique implanté au CHU et sur deux plateformes dédiées à la recherche ouvertes à l'expérimentation animale : l'IRM 3T recherche (CHU Clermont-Ferrand) et le Laboratoire de Cathétérisme Expérimental (CathLab - Faculté Médecine), permettant la réalisation d'actes de radiologie et écho-endoscopie interventionnelle sur animaux de poids moyen (minipigs...). La réalisation des protocoles cliniques, la gestion des données médicales et les protocoles d'expérimentation animale répondent aux standards de bonne pratique. A noter que quatre membres du thème disposent de l'autorisation à expérimenter sur animaux vivants de niveau 1.

Toutes les études cliniques font l'objet de demandes auprès de comités éthiques ad hoc (CPP). Les personnels non médicaux sont soumis aux mêmes règles en usage (confidentialité...).

CaVITI présente un hébergement multi site :

- Faculté de médecine, bâtiment 3C ;
- CHU Clermont-Ferrand, services de cardiologie, chirurgie cardiaque, gastro-entérologie et radiologie ;
- IUT, campus Le Puy en Velay, département Informatique.

La communication du thème s'appuie essentiellement sur le site Web ISIT (<http://isit.u-clermont1.fr>). Il sert à présenter les thématiques de recherche, les personnels avec leurs pages personnelles, mais aussi les publications et les offres d'emploi (stages, CDD ingénieur, thèse, post-doc...). Emilie Péry assure la communication en interface avec le CNRS avec au minimum deux réunions par an avec les responsables de Rhône-Alpes/Auvergne. Par ailleurs, les principaux risques liés à notre activité de recherche et les comportements à adopter en termes de prévention ont été définis. Les nouveaux arrivants sont sensibilisés aux bonnes pratiques de travail, aux risques propres du laboratoire et aux dispositions à prendre en cas d'incendie, d'accident ou d'incident et à l'hygiène et à la sécurité. Des diaporamas et des documents sont disponibles en français et en anglais sur le site intranet du laboratoire.

L'équipe a bénéficié d'un contexte favorable au niveau de l'IUT en termes de recrutement, en particulier sur le Campus du Puy-en-Velay (2 MCF Jonathan Courbon et Manuel Grand-Brochier). En revanche, dans le même temps plusieurs chercheurs ont souhaité réorienter leurs activités vers la réalité virtuelle dans le cadre du projet PIA A2Ex dans le cadre d'une démarche stratégique de l'IUT non concertée avec l'Unité de recherche. Ils ne font plus partie de l'organigramme du thème.

Sur chaque sous-thème, nous essayons de favoriser l'interdisciplinarité en associant des chercheurs médecins et non médecins, juniors ou seniors, et de différentes spécialités. Nous avons par exemple la chance de pouvoir accueillir en stage simultanément des étudiants de M1 et de M2 issus d'un cursus santé ou non, en particulier grâce à l'adossement au master Technologie pour la Médecine, qui comporte un parcours spécifique médecin. Cela favorise une synergie sur les projets.

Les thématiques de recherche requièrent un investissement important en termes de développement logiciel. Les données manipulées, le plus souvent 3D ou 4D, sont volumineuses en mémoire, ce qui est incompatible avec des prototypes développés en langage de haut niveau comme MatLab (MathWorks, Natick, MA, USA). Cela explique aussi pourquoi les projets prennent du temps à monter en charge, car c'est une façon de conduire à des applications utilisables en clinique. Un gros effort a été fait pour développer des plateformes stables sur chaque sous-thème à partir des bibliothèques de traitement d'image ITK et de visualisation 3D VTK (Insight, Clifton Park, NY, USA), éventuellement encapsulées par Qt pour le fenêtrage et la gestion des événements. L'orientation récente de certains sous-thèmes vers la perception et la robotique nous conduit aussi à ouvrir vers d'autres bibliothèques (Robot Operating System ROS, OpenCV, MSC Software Adams, Staubli VAL3 et Staubli Low Layer Interface LLI).

Le fonctionnement du thème en termes de budget était pour l'instant limité au financement de stations de travail informatique de gamme moyenne (bonnes performances graphiques et de calcul) et de missions de conférence. A signaler que la prise en charge des missions a volontairement été restreinte aux conférences sélectives, sauf pour les projets en maturation. L'inflexion récente vers la perception et la robotique (voir perspectives de l'axe TGI) en particulier pour le second sous-thème nous a amené à faire des investissements matériels plus conséquents comme par exemple l'acquisition d'un bras haptique Virtuose 3D (Haption, Soulgé-sur-Ouette).

Contexte

Issu de la restructuration de l'Equipe de Recherche en Signal et Imagerie Médicale EA 3295 lors de l'avant dernier contrat quadriennal, puis équipe de l'UMR ISIT 6284 (Institut des Sciences de l'Image pour les Techniques Interventionnelles), les champs d'applications développés dans le thème de CaVITI sont centrés sur la planification, l'aide à la réalisation et le suivi des procédures mini-invasives dans les domaines cliniques cardio-vasculaires. Centré sur une recherche interdisciplinaire, associant essentiellement des compétences en traitement d'image médicale et modélisation et des spécialités médicales, les développements se sont focalisés sur la mise au point de méthodes d'aide au diagnostic, à la planification et au suivi des gestes interventionnels cardio-vasculaires. Le foie est aussi un organe cible, car la thérapie interventionnelle d'embolisation consiste à aborder son parenchyme par la vascularisation.

Imagerie endovasculaire par Tomographie Optique Cohérente

La prise en charge de la cardiopathie ischémique a connu une avancée considérable en un quart de siècle grâce aux progrès de la cardiologie interventionnelle avec notamment le développement des endoprothèses coronaires nue, l'apparition des stents actifs (luttant contre la resténose intrastent) et plus récemment l'apparition des stents biorésorbables (limitant potentiellement les complications liées aux stents métalliques en restaurant les propriétés de vasomotricité artérielle). En parallèle, s'est développée l'imagerie endocoronaire, IVUS (Intra Vascular UltraSound) et OCT pour permettre une analyse précise des mécanismes physiopathologiques des occlusions coronaires, mais également l'analyse *in vivo* des stents coronaires et en particulier biorésorbables (résorption du polymère, déploiement et couverture des stents). Ces analyses manuelles difficilement réalisables en routine nécessitent le développement d'outils semi-automatiques ou automatiques pour faciliter la quantification et le suivi des stents par le cardiologue interventionnel, mais aussi à des fins de recherche fondamentale, pour valider les indications de nouvelles générations de stents.

Planification et guidage interventionnels des dissections de l'aorte ascendante

La prise en charge des dissections aortiques en phase aigüe varie en fonction de la topographie de la déchirure du flap intimal, séparant le vrai et le faux chenal du flux sanguin. Les dissections affectant le segment ascendant nécessitent une prise en charge chirurgicale en urgence; elles sont grevées d'une forte mortalité. Les dissections concernant le segment descendant font plutôt l'objet d'un traitement médical. Néanmoins l'évolution à long terme du faux chenal ou les complications ischémiques peuvent conduire à traiter l'aorte descendante. Le traitement par endoprothèses couvertes s'est progressivement imposé du fait de sa faible morbidité. Nous envisageons la possibilité d'étendre ces dispositifs au segment ascendant. Pour cela nous devons faire face aux challenges suivants :

1. Préciser la localisation du flap intimal et des portes d'entrée de la dissection, parfois difficiles à visualiser en imagerie de coupes conventionnelle, ce qui nécessite des méthodes de segmentation 3D
2. Assistance à l'implantation avec recalage de l'imagerie de planification aux données de la procédure, ce qui nécessite des méthodes de recalage 3D/2D et positionnement du patient dans le référentiel des imageurs.

Ces implantations utilisent du matériel complexe et onéreux dans le cadre de procédures réalisées en urgence. Elles se prêtent difficilement à la formation des opérateurs ce qui justifie le développement d'outils de simulation permettant d'envisager la formation initiale des opérateurs, mais aussi de prévoir le comportement de l'endoprothèse *in situ*.

Embolisation parenchymateuse

Les techniques d'exclusion endovasculaires connaissent un essor majeur depuis la fin des années 1990. Utilisées initialement pour assurer l'hémostase de pathologies tumorales ou traumatiques, elles apparaissent aujourd'hui comme un vecteur thérapeutique en complément ou alternative à des traitements chirurgicaux plus lourds ou traitements systémiques affectés d'effets indésirables importants. La nature des agents d'embolisation et leur interaction avec les parenchymes adjacents, les modalités de délivrance, la planification du geste et le suivi après procédure restent des éléments à faire évoluer pour

améliorer les pratiques cliniques. L'opportunité d'une approche interdisciplinaire nous permet d'accéder aux différents éléments de ces procédures.

A côté d'une collaboration internationale ayant conduit à la mise au point d'un gel d'embolisation aux propriétés sclérosantes et d'une recherche clinique active en embolisation, nous nous sommes focalisés sur les interactions des agents d'embolisations avec les parenchymes adjacents dans le cadre des chimio-embolisations hépatiques. Ce traitement consiste à associer la nécrose ischémique provoquée par l'embolisation et la cytotoxicité de la chimiothérapie pour traiter les carcinomes hépatocellulaires (CHC) localement avancés. Du fait de sa fréquence et sa mortalité, le CHC représente un véritable enjeu de santé publique. Son développement principal sur une fibrose hépatique préexistante permet de cibler une population à risque pouvant bénéficier d'examen de dépistage spécifique.

Cette pathologie nous confronte à quatre principaux challenges :

1. Améliorer le diagnostic précoce, ce qui nécessite des outils de caractérisation tissulaire ;
2. Aider à la planification chirurgicale, ce qui nécessite des outils de segmentation hépatique ;
3. Standardiser la distribution des traitements intra-artériels, à partir d'une analyse pharmacocinétique ;
4. Améliorer l'évaluation de la réponse tumorale, en analysant la cinétique d'un traceur.

Fonction myocardique régionale 3D

L'estimation des déformations myocardiques (ou strain) s'est affirmée ces dernières années comme un paramètre majeur dans l'évaluation de la fonction myocardique et comme étant davantage lié au métabolisme et à la contractilité myocytaire que la fraction d'éjection. Il a aussi montré son intérêt comme facteur pronostique dans le post infarctus et dans d'autres cardiopathies. Le strain myocardique peut être calculé à partir de différentes techniques : échocardiographie, IRM cardiaque, SPECT. Malgré ces atouts, des questions persistent et le strain, comme les autres paramètres, ne permet pas de prédire de façon suffisamment fiable le pronostic des patients. L'un des problèmes actuel, est l'analyse dans un plan en 2 dimensions, alors même que la déformation myocardique résulte de différents mouvements évoluant dans les 3 dimensions (déformation longitudinale, radiale et circonférentielle).

Nous coordonnons, depuis 2011, le projet ANR 3DStrain (2011-2015) pour proposer un nouveau formalisme variationnel pour estimer le strain en imagerie multimodale (ciné IRM, échocardiographie et TEMP) et essayer de répondre aux principales limites actuelles de cette quantification en 3D :

- le manque de robustesse de l'estimation qui fait qu'elle n'est pas utilisable en routine clinique ;
- l'ergonomie 3D des plateformes de post-traitement ne permet pas de corriger un résultat même visiblement erroné ;
- le strain est un indice qui n'est pas absolu, sa normalité doit être établie vis-à-vis des caractéristiques des patients (genre, âge...).

Réalisations

1. Imagerie endovasculaire par Tomographie Optique Cohérente

Les travaux menés au sein de ce sous-thème se sont principalement attachés au développement d'outils semi-automatiques ou automatiques permettant l'analyse d'images OCT obtenues en pratique clinique quotidienne. Dans un premier temps, ont été réalisés des travaux de détection automatiques de la paroi coronaire et des stents métalliques (avec comme gold standard l'analyse manuelle) pour évaluer les surfaces artérielles, les surfaces des stents et surtout l'apposition des mailles des stents à la paroi coronaire (quantification de la malapposition CBM 2015). Les mêmes travaux ont ensuite été réalisés avec les stents biorésorbables (dont l'aspect en imagerie endocoronaire est bien différent de celle des stents métalliques). La détection automatique des stents avait été initiée il y a quelques années (*thèse Florian Dubuisson*, IEEE TMI 2010, IRBM 2011) et a été totalement revue pour être améliorée en termes de sensibilité / spécificité (*thèse Pierre-Yves Menguy*, IRBM 2015). Il est maintenant possible de reconstruire en 3D la géométrie du stent pour l'instant constituée de points discrets en 3D. Nous nous attachons à produire un modèle continu du stent à partir de ces points, qui pourra être utilisé pour simuler des déformations. D'un point de vue clinique, l'analyse des déformations est particulièrement intéressante pour évaluer le traitement des bifurcations (ouverture des mailles par le ballon d'angioplastie au regard de la branche de bifurcation). Des travaux de CaVIT, en confrontant l'OCT à la micro-tomodensitométrie rayons X sur banc, ont permis de valider la qualité des mesures (EuroIntervention 2015). L'activité de soin et les travaux de recherche clinique dans le service de cardiologie du CHU de Clermont-Ferrand ont permis d'obtenir une banque de données importante avec contrôle à distance d'un même patient. Ces examens sont à l'origine de travaux de recalage d'images entre le post implantation immédiate et le contrôle à distance pour permettre une analyse de la déformation (longitudinale, radiale) des stents. La méthode de recalage mise au point se fonde

sur des amers anatomiques localisés sur les deux examens par le cardiologue et exploitant une transformation non rigide permettant de modéliser localement les translations et des décalages angulaires (Proc. MICCAI-STENT 2012). Enfin, ces contrôles à distance permettent, dans le cadre des stents biorésorbables, une analyse *in vivo* de la résorption du polymère biodégradable et du comportement biomécanique du stent au cours du temps.

2. Planification et guidage interventionnels des dissections de l'aorte ascendante

Les réalisations de ce sous-thème se placent aux différentes étapes de l'implantation de l'endoprothèse, du diagnostic à la mise en place en passant par l'enseignement du geste :

- Afin de préciser la distribution du flap intimal et la topographie des portes d'entrée et de les confronter aux données perprocédure, des méthodes de traitement d'images (segmentation, recalage) et de réalité augmentée (fusion d'images) ont été développées. La segmentation des caractéristiques d'une dissection dans des images tomodensitométriques a été mise au point selon une approche en topologie digitale ou morphologie mathématique (Proc. SPIE 2011, Proc. BMEI 2013). Pour le recalage 3D/2D d'images préopératoires sur des images angiographiques, l'originalité de l'étude réside en la proposition d'un recalage direct avec initialisation rapide pour une chaîne de recalage plus complexe (*thèse de Pawel Lubniewski*, Proc. CISP 2012, Proc. SPIE 2013). L'interface graphique mise en place a permis de confronter le résultat du recalage automatique à un recalage manuel interactif. La chaîne segmentation/recalage a donné lieu à une publication (IRBM 2013).
- Pour l'assistance du geste interventionnel, l'objectif est de simuler virtuellement les images médicales en utilisant des données fournies par des capteurs externes (caméras, capteurs de profondeurs) afin d'assister l'équipe médicale pour le positionnement de l'imageur et le suivi de instruments. Un outil de simulation interactive 3D de la salle radio-chirurgicale IMABLOC (CHU Clermont-Ferrand) a été développé.
- La dernière étape concerne la simulation du geste en réalité virtuelle avec retour d'effort, première étape vers une éventuelle robotisation de l'intervention. Les travaux préliminaires se sont concentrés sur la définition des modèles mécaniques d'un robot 6 axes TX40. Ce robot doit servir de bras de mesure en effort pour recaler les modèles liés au geste, mais aussi de support pour l'étude de la robotisation de l'intervention. La mise en place d'un simulateur pour cette étude impose donc le recours à des modèles géométriques, cinématiques et dynamiques de la structure mécanique du robot. Il s'agit ensuite de modéliser mécaniquement le geste et les instruments (géométrie et transmission d'effort) à partir de méthodes orientées robotique pour simuler et étudier les efforts ressentis par le chirurgien lors de l'intervention. Afin d'étudier le comportement du robot lors de l'insertion du cathéter dans l'aorte, la géométrie de l'aorte est extraite par segmentation des données tomodensitométriques et replacée par rapport au référentiel du robot. Un modèle de cathéter a été développé en considérant le cathéter comme un ensemble d'articulations de type rotule évoluant le long de la ligne centrale de l'aorte. Ces travaux préliminaires restent sur le plan théorique et il sera nécessaire de mettre en œuvre des protocoles expérimentaux pour valider et étalonner les modèles. Une première piste est de travailler sur une maquette PROCEDICUS VIST en cours de retrofitting. Une deuxième piste vise la création d'une maquette permettant d'évaluer le comportement du cathéter lors de l'insertion (comportement géométrique, transmission d'efforts). Les modèles pourront être étalonnés et validés par l'intermédiaire d'une interface haptique HAPTION récemment acquise. Cet aspect fait l'objet d'une coopération avec Hélène Chanal MCF HDR de l'axe MMS de l'Institut Pascal. Cette thématique n'a pas été validée par des publications car il s'agit pour l'instant plus d'une étude exploratoire. L'originalité repose sur le recours à des modèles simples et peu coûteux en temps de calcul permettant un retour d'effort réaliste et sans latence, contrairement aux travaux publiés qui se basent plus sur des méthodes par éléments finis.

3. Embolisation parenchymateuse

Les réalisations de ce sous-thème se placent aux différentes étapes de l'embolisation depuis la conception de l'agent jusqu'à l'évaluation post-procédure :

- L'élaboration d'un nouveau gel d'embolisation, en collaboration avec le laboratoire des biomatériaux de l'Université de Montréal, associant les facilités d'injection d'une structure liquide polymérisant au contact du sang et les propriétés de destruction de l'endothélium d'un agent sclérosant (Chabrot et al, J Endovasc Ther 2012; Fatimi et al, Biomaterial 2012). Cet hydrogel, issu de peptidoglycanes et chitosan, doit permettre par exemple l'amélioration des embolisations des fuites observées après traitement des anévrismes aortiques par endoprothèse, technique d'exclusion non opératoire des anévrismes de l'aorte abdominale dont la limite principale résulte de la survenue de fuites péri-prothétiques ;

- L'approche microscopique vise à améliorer les méthodes de quantifications de la fibrose hépatique à partir d'une analyse informatique de la texture, de la morphologie et de la structure sur différents descripteurs locaux (thèse Jeremy Coatelen, EMBC 2012). Ce projet, réalisé dans le cadre d'une convention CIFRE en collaboration avec la société Histalim (Montpellier), devrait permettre la mise en place d'un logiciel d'analyse de la fibrose hépatique pour améliorer la sélection des patients à risque de développer un CHC ;
- L'approche pharmacocinétique compare les concentrations tissulaires de la chimiothérapie en fonction des modalités d'embolisation (Chabrot et al, CVIR 2012). Ce projet, réalisé en collaboration avec l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA, Theix), avait pour objet de préciser la modalité d'injection la plus adaptée à la délivrance de la chimiothérapie avant d'envisager un transfert sur un modèle tumoral ;
- L'approche tissulaire basée sur un modèle de foie numérique et de segmentation des lésions par une technique inspirée de la logique floue, cherche à réaliser des outils robustes de segmentations du parenchyme et des structures vasculaire du foie à partir de données d'imagerie conventionnelle (scanner, ou IRM) pour améliorer la planification chirurgicale et le suivi après embolisation (thèse Abder-Rahman Ali).

4. Fonction myocardique régionale 3D

Notre objectif méthodologique dans le projet 3DStrain était de pouvoir trouver un formalisme qui permette de coupler la segmentation des parois myocardiques en 3D avec l'estimation du déplacement régional du myocarde. Ces deux problèmes ont été traités séparément dans deux thèses et des résultats préliminaires de couplage ont pu être montrés. Le formalisme que nous avons étudié est celui de l'assimilation de données variationnelle qui permet de prendre en compte à la fois des observations issues des séquences d'images et un modèle dynamique pour contraindre l'évolution temporelle des variables d'état du système (thèse *Viateur Tuyisenge*). Le modèle d'observation est construit à partir de la contrainte d'invariance du flot optique, mais il comprend aussi un nouveau terme de régularisation non linéaire qui préserve les discontinuités du déplacement (ISBI 2013, FIMH 2013). Le modèle dynamique est quant à lui construit à partir du modèle classique de transport qui suppose l'invariance des variables d'état lors de leur déplacement. Cependant, le modèle n'est pas complètement adapté à un mouvement non uniforme comme celui du myocarde. Nous l'avons pondéré par une fonction positive en systole et négative en diastole, ce qui revient à lisser les variables d'état séparément sur ces deux périodes du cycle. La fonction est paramétrée par la phase du cycle cardiaque qui devient une variable d'état supplémentaire estimée en même temps que le déplacement. Le tenseur des déformations, calculé par différentiation du champ de déplacement, donne les composantes longitudinales, radiales circonférentielles du strain. Avec la phase, elles sont connues en chaque point du myocarde et constituent des informations complémentaires pour caractériser la fonction myocardique (STACOM 2014).

Cette nouvelle méthode d'estimation du strain est en cours de validation clinique. Les résultats obtenus en 2D en cine IRM ont été validés par comparaison au suivi en IRM de marquage tissulaire et vis-à-vis de l'expertise clinique. Nous disposons également d'une base de données de test originale car chaque patient a subi un contrôle sur les trois modalités d'imagerie cardiaques utilisées en routine : échocardiographie, TEMP et ciné IRM avec une quantification de référence pour chacune des modalités : speckle tracking 2D et 3D (4DSTRAIN, GE Healthcare), fraction d'épaississement et phase (QGS, Cedar Sinai), et suivi en IRM marqué (inTag, CREATIS). La base est en cours d'analyse pour comparer la méthode développée avec la référence pour chaque modalité, et les modalités entre elles.

Nous avons choisi de présenter un fait marquant par sous-thème de CaVITI pour donner une idée plus concrète des réalisations :

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#85	Analysis of Intracoronary Prosthesis by Optical Coherence Tomography (sous-thème 1)
#86	Interventional Planning and Assistance for Ascending Aorta Dissections (sous-thème 2)
#87	Standardization of transcatheter arterial chemo-embolization of the liver (sous-thème 3)
#88	Joint Estimation of Myocardial Strain and Contraction Phase from Data Assimilation (sous-thème 4)

Production scientifique

Le bilan des publications 2010-2015 de CaVITI est numériquement important (227 ACL, ASCL et ACLN), du fait d'une activité de recherche fondamentale et clinique dense. Les publications relevant directement du champ scientifique propre du thème représentent 30% (n=67) du total, et sont classées ci-dessous par rang

(quartiles de Q1 à Q4) dans la discipline (Institute for Scientific Information, Web of Knowledge ou SJR ScImago), puis par IF décroissant. Les publications hors champ (n=160) sont classées par discipline ISI Web of Knowledge.

L'ensemble des sous-thèmes de CaVITI ont été initiés en début de quinquennat. Il a fallu qu'ils montent en charge progressivement, avec des publications fondamentales et/ou cliniques, avant de pouvoir prétendre à des publications dans des revues interdisciplinaires de bon niveau comme IEEE Trans Med Imaging par exemple.

Nous constatons que le niveau des publications cliniques a lui aussi augmenté ces dernières années avec des papiers dans des revues très sélectives.

Publications, communications orales, ouvrages et logiciels sur la période 2010 - Mai 2015	Nombre
<p>ACL-ASCL-ACLN champ scientifique CaVITI</p> <p>Circulation (Q1 ; 15,20) Eur Heart J (Q1 ; 14,10) Am J Gastroenterol (Q1 ; 7,55) Circ-Cardiovasc Interv (Q1 ; 6,54) JACC-Cardiovasc Imaging (Q1 ; 6,16) x2 J Nucl Med (Q1 ; 5,77) Int J Cardiol (Q1 ; 5,51) x2 Acta Biomater (Q1 ; 5,09) Heart Rhythm (Q1 ; 5,04) Obstet Gybecol (Q1 ; 4,80) IEEE Trans Med Imaging (Q1 ; 4,01) x2 Eur Heart J-Cardiovasc Imaging (Q2 ; 3,67) x4 J Thorac Cardiovasc Surg (Q2 ; 3,53) Am J Cardiol (Q2 ; 3,21) x2 Eurointervention (Q2 ; 3,17) x4 Dig Liver Dis (Q2 ; 3,16) Thromb res (Q2 ; 3,13) Int J Cardiovasc Imaging (Q2 ; 2,65) Clin Biochem (Q1 ; 2,45) Cardiovasc Inter Radiol (Q2 ; 2,14) x2</p>	<p>67</p>
<p>ACL-ASCL-ACLN - hors champ</p> <p>N Eng J Med (Q1 ; 51,66) x2 Lancet Infect Dis (Q1 ; 19,97) J Clin Oncol (Q1 ; 18,04) Circulation (Q1 ; 15,20) x2 Eur Heart J (Q1 ; 14,10) J Am Coll Cardiol (Q1 ; 14,09) Gastroenterology (Q1 ; 12,82) x3 Hepatology (Q1 ; 12,00) x2 J Hepatol (Q1 ; 9,86) x3 Hypertension (Q1 ; 6,87) Circ Heart Fail (Q1 ; 6,68) J Clin Endocrinol Metab (Q1 ; 6,43) Radiology (Q1 ; 6,34) Crit Care Med (Q1 ; 6,12) Emerg Infect Dis (Q1 ; 5,99) Chest (Q1 ; 5,85) Endoscopy (Q1 ; 5,74) x3 Int J Cardiol (Q1 ; 5,51) x2 Pediatrics (Q1 ; 5,12) Heart Rhythm (Q1 ; 5,04) x2 Heart (Q1 ; 5,01) Ostet Gynecol (Q1 ; 4,80) Am Heart J (Q1 ; 4,50) x3 Medicine (Q1 ; 4,23) Rheumatology (Q1 ; 4,21) Liver Transpl (Q1 ; 3,94)</p>	<p>160</p>

<p>J Hypertens (Q1 ; 3,81) Surg Endosc (Q1 ; 3,43) IEEE Trans Image Process (Q1 ; 3,20) Am J Roentgenol (Q1 ; 2,90) X2 J Vasc Surg (Q1 ; 2,88) J Endovsc Ther (Q1 ; 2,70) Pattern Recognition (Q1 ; 2,68) Int J Health Geogr (Q1 ; 2,19) x2 Ann Throac Surg (Q2 ; 3,45) Am J Cardiol (Q2 ; 3,21) Am J Neuroradiol (Q2 ; 3,17) x2 Dig Liver Dis (Q2 ; 3,16) x2 Thromb Res (Q2 ; 3,13) Can J Cardiol (Q2 ; 3,12) Clin Pharmacol (Q2 ; 2,96) Infect Genet Evol (Q2 ; 2,77) Joint Bone Spine (Q2 ; 2,75) Eur J Clin Pharmacol (Q2 ; 2,74) x2 J Biomech (Q2 ; 2,72) Nutr Canc (Q2 ; 2,69) Cardiovasc Drugs Ther (Q2 ; 2,67) Eur J Cardiothorac Surg (Q2 ; 2,67) World J Gastroenterol (Q2 ; 2,55) x2 Neurosurgery (Q2 ; 2,53) Eur J Radiol (Q2 ; 2,51) IEEE Trans Biomed Eng (Q2 ; 2,35)</p>	<p>Endosc Ultrasound (Q4 ; 1,35, no IF before 2014) J Heart Valve Dis (Q4 ; 1,07) x2 Prog Urol (Q4 ; 0,80) x2 Hell J Nucl Med (Q4 ; 0,68) J Cardiothorac Surg (Q4 ; 0,9) x2 Gynecol Obstet Fertil (Q4 ; 0,55) x3 Advanced Robotics (Q4 ; 0,51) x2 Afr J Paediatr Surg (Q4 ; 0,47) Radioprotection (Q4 ; 0,44) x4 IRBM (Q4 ; 0,40) J Radiol (Q4 ; 0,35) x9 Virtual Reality (Q4 ; 0,34) Ann Cardiol Angeiol (Q4 ; 0,29) x4 J Mal Vasc (Q4 ; 0,23) J Laparoendosc Adv Surg Tech A (2005 : 0,65; no IF after 2005) Bull Acad Natl Med (0,22) Cardiac Electrophysiology Clinics (Q3 ; 0,15) REFIG (no IF) Scientific Journal of Computer Science (no IF) Skull Base Surgery (no IF) World J Gastrointerest Surg (no IF)</p>	
<p>INV la plus récente : Motreff P, Darremont O, Guerin P, Lefevre Thierry, Souteyrand G Le BVS : la preuve par l'image, Congrès APPAC, Biarritz, juin 2015 (voir liste détaillée)</p>		91
<p>OS - Bordachar P, Ellenbogen K, Eschalièr R, Garrigue S, Hayes D, Ploux S, Reuter S, Ritter P. Stimulateur cardiaque implantable : Interrogation et Programmation, Les spécificités de différentes compagnies, 2015. - Bordachar P, Derval N, Eschalièr R, Garrigue S, Ploux S, Reuter S, Ritter P, Sacher F, Thambo JB Electrocardiogramme : les troubles de la conduction, Stimulat Editions, 2015. - Bordachar P, Eschalièr R, Garrigue S, Hayes D, Leclercq C, Le Polain JB, Ploux S, Reuter S, Ritter P. Resynchronisation cardiaque, Tracés Medtronic, 2015. - Vacavant A, Bianchi K, Cerutti G, Cassagnes L, Sarry L and Tougne L. Model-based Segmentation Algorithms for Myocardial Magnetic Resonance Imaging Sequences, Biomedical Image Segmentation: Advances and Trends, 2015. - Vacavant A, Tougne L, Chateau T and Robinault L. Evaluation of Background Models with Synthetic and Real Data, Background Modeling and Foreground Detection for Video Surveillance, 2014. - Yan Jin, Helene Chanal, Flavien Paccot, Parallel Robot, Handbook of Manufacturing Engineering and Technology, Publisher: Springer London, Editors: Nee, Andrew, 2014. - Bordachar P, Ellenbogen K, Eschalièr R, Garrigue S, Hayes D, Ploux S, Reuter S, Ritter P. Défibrillateur Automatique Implantable : Interrogation et Programmation, Les spécificités de différentes compagnies, 2013. - Coeurjolly D and Vacavant A. Separable Distance Transformation and its Applications. In Digital Geometry Algorithms Theoretical Foundations and Applications to Computational Imaging, 2012.</p>		8
<p>DO - Bouwmans T, Porikli F, Hoferlin B and Vacavant, A. Background Modeling and Foreground Detection for Video Surveillance, CRC Press, 2014. - Chabrot P, Boyer L, Embolization, Edition Springer International, 2013. - Chabrot P, Boyer L, Embolisation, Edition Springer, 2012.</p>		3
<p>AP - Gadea E, Thivat E, Paulon R, Mishellany F, Gimbergues P, Capel F, Mosoni L, Merlin C, Lombes M, Morio B, Durando X (2013) Hibernoma: a possible clinical model for exploring the role of brown adipose tissue in the regulation of body weight? J Clin Endocrinol Metab 99(1), pp.1-6 [DOI:10.1210/jc.2013-2829]</p>		1
<p>C-ACTI + C-ACTN</p>		83 (53+30)
<p>C-COM + C-AFF</p>		39 (7+32)

Rayonnement et Attractivité académiques

Travaux collaboratifs et investigateurs

Au niveau collaboratif, le thème CaVITI peut faire état de la coordination de plusieurs projets nationaux et régionaux qui alimentent les différents sous-thèmes :

- pour le sous-thème 1, les financements sont surtout cliniques avec l'étude YMCA. Un financement industriel (Terumo) a permis de prendre en charge une thèse et le montage d'un projet européen est à l'étude (Marie Curie EID) avec ce même partenaire ;
- pour le sous-thème 2, un projet vient juste d'être financé dans le cadre de l'AAP régional « Nouveau chercheur » 2015 ;
- pour le sous-thème 3, le projet MARIA coordonné avec le groupe PRIP (TU Vienne, Autriche) et le succès à l'AAP régional « Nouveau chercheur » 2014 sont des premiers jalons pour déposer un projet européen de type FET-open dans l'année qui vient en lien avec un consortium constitué avec d'autres partenaires en Suède, en Allemagne et au Royaume-Uni ;
- pour le sous-thème 4, le projet ANR 3DStrain regroupant 4 partenaires académiques (ISIT, IP, CREATIS, ICJ) et la société Keosys (Saint-Herblain).

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
Européen (hors ERC)	PHC/WTZ (Autriche)	MARIA	Co-P	2014-2015	Multi-scale Approaches for Robust medical Image Analysis
National	ANR	3DSTRAIN	C	2011-2015	Multimodal quantification and validation of 3D regional myocardial function (ANR-11-TecSan-002)
		GINSENG	P	2011-2014	Réseau Sentinelle sur grille informatique pour l'e-santé et l'épidémiologie (ANR-10-TECS-0008)
Régional	AAP Nouveau Chercheur 2014	A Vacavant	C	2014-2017	Détection et visualisation interactives des tumeurs du foie dans les séquences de contraste pour l'aide au diagnostic et au traitement
	AAP Nouveau Chercheur 2015	J Courbon	C	2015-2018	Conception d'un dispositif basé sur une caméra grand-angle pour l'assistance aux interventions endovasculaires
Applicatif autres	Partenariat recherche clinique avec financement industriel	HF80 pilot study	C	2011-2014	Intérêt de l'optimisation du traitement des patients insuffisants cardiaques systoliques âgés de plus de 80 ans ? (NCT01437371)
		PREFAC-CRT Study	C	2012 - 2015	Analyse des facteurs prédictifs de réponse à la resynchronisation cardiaque: approche multimodale par l'échocardiographie 2D strain, la scintigraphie MIBG, les marqueurs biologiques de l'insuffisance cardiaque et l'IRM (NCT02018029)
		NICD-CRT Study	C	2015 - 2018	Evaluation de la resynchronisation cardiaque chez des patients présentant un bloc indifférencié
		LBBB-TAVI Study	C	2015-2018	Evaluation du pronostic des patients porteurs d'un bloc de branche gauche après un TAVI
		YMCA Pilot Study	C	2014-2016	Prise en charge des SCA ST+ des patients de moins de 50 ans monotronculaires basée sur l'implantation minimale de matériel endocoronaire
	Programme Hospitalier de Recherche Clinique National	CARMENA	P	2010-	Essai randomisé de phase III évaluant l'intérêt de la néphrectomie chez les patients atteints de cancer du rein métastatique d'emblée et traités par un anti-angiogénique.
		ARCADIA	C	2010-	Etude transversale et suivi de cohorte chez des patients porteurs de dysplasie fibro-musculaire des artères rénales et cervicales - réseau maladies vasculaires rares.
		CMD	P	2011-	Facteurs pronostiques en IRM des cardiomyopathies dilatées.
		SPLASH	P	2013-	Bénéfice de l'embolisation prophylactique sur le sauvetage splénique chez les patients traumatisés à haut risque de splénectomie.
	Programme Hospitalier de Recherche Clinique Régional	TRIVALVE	P	2014-	Comparaison des performances hémodynamiques à court et moyen terme de trois types de valves aortiques stentées.

Collaborations se traduisant par des publications communes 2010-2015 : 17

National et Locorégional

Université & INSA de Lyon – CREATIS (IRBM 2015)
 Université de Rennes – COSTEL (STACOM 2014)
 Université Blaise Pascal – Institut Pascal (IRBM 2015)
 IHU Bordeaux (Pr Haïssaguerre, Pr Jaïs, Pr Bordachar, Heart

International

Université de Stanford USA (avec J Solomon ICPR 2012)
 Université d'Uppsala Suède (avec R Strand MIUA 2013 et VISAPP 2014)

<p>Rythm 2015) CIC Plurithématique – CHU Nancy (Pr Zannad, Pr Rossignol, Hypertension 2014, Circ Heart Fail 2013, J Am Coll Cardiol 2013, J Hypertens 2012) CHU de Nantes (Pr Guerin Am Heart J 2015, Crit Care Med 2012) CHU de Dijon (Drs Boulin, Fagnoni) (Anticancer Res. 2014)</p>	<p>VCU Pauley Heart Center, Medical College of Virginia/VCU School of Medicine, Gateway Bldg, Richmond, VA 23219 (Dr K Ellenbogen Heart Rythm 2015). Cardiac Pacing and Electrophysiology, 9500 Euclid Avenue Desk J2-2, Cleveland Clinic, Cleveland, OH 44195, USA (Niraj Varm, Heart Rythm 2015) Université de Montréal, CHUM, Laboratoire Central de l'Image (avec C Kauffmann IEEE TMI 2010, IRBM 2011, CBM 2015) Mercy Angiography, Auckland, New Zealand (Dr Ormiston Eurointervention 2015) Université de Montréal, CHUM, Laboratoire des Biomatériaux (Sophie Lerouge et Gilles Soulez, Acta Biomaterial 2012, CVR 2012)</p>
--	--

Autres Eléments

✓ Citations, facteur h des leaders scientifiques du thème (source WOS)

- A Abergel (gastroentérologie, MD PhD), 3224 citations, h=28, Score SIGAPS 351 (40 publications prises en compte entre 2010 et 2015)
- JY Boire (biostatistiques, PhD ; responsable du service), 811 citations, h=17 ; Score SIGAPS 29 (5 publications prises en compte entre 2010 et 2015)
- L Boyer (radiologie, MD ; responsable du service et chef de pôle), 1573 citations, h=20 ; Score SIGAPS 360 (39 publications prises en compte entre 2010 et 2015)
- P Chabrot (radiologie, MD PhD ; responsable de l'Unité Fonctionnelle de Radiologie Interventionnelle), 187 citations, h=6 ; Score SIGAPS 333 (32 publications prises en compte entre 2010 et 2015)
- JR Lussou (cardiologie, MD, responsable du service), 872 citations, h=16 ; Score SIGAPS 202 (27 publications prises en compte entre 2010 et 2015)
- P Motreff (cardiologie, MD PhD, responsable de l'Unité de Soins Intensifs de Cardiologie), 705 citations, h=13 ; Score SIGAPS 488 (46 publications prises en compte entre 2010 et 2015)
- L Sarry (CNU 61, PhD, coresponsable master Technologies biomédicales, spécialité Technologie pour la Médecine), 279 citations, h=9.

✓ Invitations et attractivité nationales et internationales

- Conférences nationales et européennes de vulgarisation sur les indications de l'OCT (P Motreff).
- Embolisation et imagerie cardio-vasculaires (L Boyer et P Chabrot 27 internationales et 31 nationales).
- Nicole Artner (15j, PRIP Vienne TU, Autriche, invitation entrante).

✓ Participations à des jurys de thèse et HDR

- A Duménil (C Lohou, Rapporteur, PhD, LTSI, Rennes, Juil. 2015)
- M Rogez (A Vacavant, Examineur, PhD, LIRIS, Lyon, Juin 2015)
- A Kaladji (JY Boire, Président, PhD, LTSI, Rennes, Juin 2015)
- L Wang (L Sarry, Rapporteur, PhD, CREATIS, Lyon, Déc. 2014)
- R Abbal (L Sarry, Rapporteur, PhD, IRIT, Toulouse, Juin 2014)
- Y Zhao (L Sarry, Président, PhD, CREATIS, Lyon, Fév. 2014)
- A Ugon (JY Boire, Rapporteur, PhD, Paris, 2014)
- E Blondiaux (L Boyer, Président, PhD, Inserm U970 LRI, Paris, Avr. 2014)
- O Naggara (L Boyer, Examineur, HDR, UMR 894 CNRS, Paris, Mai 2014)
- G Cazoulat (L Sarry, Rapporteur, PhD, LTSI, Rennes, Déc. 2013)
- Q Wang (C Lohou, Rapporteur, PhD, LTSI, Rennes, Déc. 2013)
- H Korrapati (J Courbon, Examineur, PhD, IP, Clermont-Ferrand, Juin 2013)
- M Midulla (L Boyer, Examineur, PhD, I2MC UMR1048 INSERM, Toulouse, Mar. 2013)
- K Azarnoush (L Boyer, Rapporteur, HDR, UNH U633 INSERM, Clermont-Ferrand, Mai 2013)
- G Zahnd (L Sarry, Rapporteur, PhD, CREATIS, Lyon, Déc. 2012)
- A Arlicot (C Lohou, Examineur, PhD, IRCCyN, Nantes, Déc. 2012)
- A Chapoulie (J Courbon, Examineur, PhD, INRIA, Nice, Déc. 2012)
- JM Mari (L Sarry, Rapporteur, HDR, LabTau, Lyon, Nov. 2012)
- C Casta (L Sarry, Rapporteur, PhD, CREATIS, Lyon, Nov. 2012)
- L Xie (JY Boire, Rapporteur, PhD, Laboratoire commun LTSI - Nanjing, Rennes, 2012)
- R Loffroy (L Boyer, Rapporteur, HDR, Le2i CNRS, Dijon, 2012)
- M Sirol (L Boyer, Examineur, HDR, UMR 942 INSERM, Paris, Nov. 2012)

- F Cachin (L Boyer, Président, HDR, IMTV UMR 990 Inserm, Clermont-Ferrand, 2012)
- L Grezes-Besset (JY Boire, Rapporteur, PhD, CREATIS, Lyon, Déc. 2011)
- P Gueth (L Sarry, Rapporteur, PhD, CREATIS, Lyon, Juil. 2011)
- MP Garcia (L Sarry, Président, PhD, LTSI, Rennes, Janv. 2011)
- F Pontana (L Boyer, Rapporteur, PhD, EA 2694, Lille, Sep. 2013)
- B Florent (L Sarry, Président, PhD, ISIT, Clermont-Ferrand, Nov. 2010)
- M Castro (L Sarry, Rapporteur, PhD, LTSI, Rennes, Oct. 2010)
- R Porcher (JY Boire, Rapporteur, HDR, UMR-1153, Paris, 2010)

✓ *Co-encadrements*

- L Boyer : thèse L Cassagnes avec Martine Rémy Jardin (Lille),
- L Sarry : thèse V Costalat avec A Bonafé (Montpellier), thèse F Dubuisson avec K Kauffmann (Montréal)
- JR Lusson : thèse R Eschalier avec F Zannad et P Rossignol (Nancy)

✓ *Prix et Distinctions*

- P. Chabrot
 - Bourse de recherche
 - société française de radiologie (2009)
 - société canadienne des maladies du cœur et des vaisseaux (2009)
 - Communications primées
 - Certificate of merit of the Radiological Society North America (Chicago, 2010)
 - Excellence in design of the Radiological Society North America (Chicago, 2010)
 - Certificate of merit at the Congress of CardioVascular Interventional Radiological Society of Europe (Barcelona, 2013)
 - Ouvrage primé
 - Embolisation, P. Chabrot et L. Boyer, Springer Ed (prix ouvrage radiologique de l'année Journée française de radiologie 2012).

- R. Eschalier
 - Bourse de recherche
 - Bourse de la Fédération Française de Cardiologie pour une thèse d'université (2011).
 - Prix Edouard Corabeuf (prix de recherche en rythmologie de la Société Française de Cardiologie) (2015)
 - Communications primées
 - Prix de la meilleure présentation d'étude clinique au « Congrès du Collège National des Généralistes Enseignants (CNGE) » (Clermont-Ferrand, 2013)
 - 4^{ème} prix du jeune chercheur (recherche fondamentale) de la Société Française de Cardiologie (Paris, 2015)
 - 3^{ème} prix du jeune chercheur (recherche clinique) de la Société Française de Cardiologie (Paris, 2015).

✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
World Journal of gastroenterology (A Abergel) Journal de Radiologie (L Boyer)	<p>Organisation et comité de programme</p> <p>Teaching minimal invasive therapy (Clermont-ferrand 2012) European Congress of Inteventional Oncology (Nice 2015) Journées de Rythmologie, Stimuprat (Bordeaux 2015) Congrès national Stimuprat Paramédicaux (Clermont-Ferrand, 2015)</p> <p>Chair du comité de programme</p> <p>Journées de Rythmologie, Stimuprat (Bordeaux 2015) Congrès national Stimuprat Paramédicaux (Clermont-Ferrand, 2015)</p> <p>Membre du comité de programme</p> <p>Recherche en Imagerie et Technologies pour la Santé (RITS 2015) Journées Françaises de Radiologie Rencontres SFR-SFC</p>	<p>Referee</p> <p><i>Revues</i></p> <p>IEEE Transactions on Medical Imaging IEEE Transactions on Biomedical Engineering Innovation and Research in BioMedical engineering IET CVI Journal of Biomedical Optics Pattern Recognition Letters Computer Methods and Programs in Biomedicine Journal of vascular and interventional radiology Cardiovascular and Interventional radiology European radiology Diagnosis and interventional radiology Gut New England Journal of Medicine Hepatology</p>

	European School of Interventional Radiology (Marseille 2014) Journées Françaises d'Insuffisance Cardiaque (2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015)	Heart – BMJ Journal European Journal of Clinical Pharmacology Clinica Chimica Acta Plos One Journal of Atrial Fibrillation Journal of the Renin-Angiotensin-Aldosterone System BMC Family Practice <i>Conférences</i> Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI) Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC) International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI) Journées Françaises de Radiologie Congrès de la Cardiovascular and Interventional Society of Europe
--	---	--

✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*

- J.Y. Boire
 - Depuis 2009 : National Contact Point for AAL European Program (AAL 169).
 - De 2009 à fin 2013 : nommé Responsable Scientifique de Programmes à l'Agence Nationale de la Recherche Département Biologie Santé (Affectation à 40%). Responsable du Programme Technologie pour la Santé et l'Autonomie (TecSan).
 - Responsable du programme Santé Publique 2009
 - Responsable du Programme Déterminent sociaux de la Santé 2012
 - Membre du Conseil Scientifique de la Fondation Garches
 - Co-président du Conseil Scientifique de l'ANR TecSan à partir de 2014
 - Co-responsable du panel Biotechnologies Santé Publique au programme CNRS-INSERM Atip-Avenir 2014

- L. Boyer
 - Vice-président du bureau du Collège des Enseignants de Radiologie Francophone depuis 2012
 - Membre élu du Conseil National des Universités sous-section 43-02 depuis 2013
 - Secrétaire général adjoint de la Société Française de Radiologie depuis 2010
 - Membre de la Direction des Etudes Médico Economiques et de l'Information Scientifique de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé (AFFSAPS) depuis 2000.
 - Responsable du Centre de compétence – maladies rares : « Maladies vasculaires rares » depuis 2008
 - Membre de l'Ethical Compliance Task Force du CIRCE depuis 2012

✓ *Expertises*

- C Lohou, E Péry, L Sarry : experts ANR programme TecSan
- E Péry : expert ANRT
- A Vacavant : expert ANR programme Blanc International SIMI3 (2011, 2015) et JCJC SIMI 3 (2012, 2013)
- L Boyer :
 - expert Haute Autorité de Santé (implants endovasculaires 2010, dysplasie fibro-musculaire 2010, dépistage anévrisme abdominaux 2012)
 - expert projet A.O. local Toulouse 2010
 - expert projet A.O.I. MERRI Montpellier Nîmes 2010
 - expert PHRC interrégional 2013 AGIRCI (Ile de France)
 - expert 2014 PHRC national (dossier 14 - 0523)
- P Chabrot : experts Haute Autorité de Santé (implants endovasculaires 2014), expert PHRC national 2014.

Implication dans la formation par la recherche

Le thème CaVITI accueille un nombre important de doctorants et de stagiaires de M1 et M2 issus des domaines disciplinaires SVE et ST. C'est l'interdisciplinarité de ces deux communautés sur les projets de

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel (2012-2015)

Produits adossés à la recherche et destinés à des acteurs non académiques

A partir des recherches cliniques et fondamentales, il a été réalisé des publications à visée didactique dans le domaine de l'embolisation et de l'imagerie cardio-vasculaires :

- Ouvrages :
 - Embolisation, Chabrot P. et Boyer L., Springer, Ed 2012 et Embolization, Chabrot P. et Boyer L. Springer International, Ed 2013 ;
 - Recueil de publications scientifiques à l'interface des spécialités de radiologie et de cardiologie : Imagerie en coupe du cœur et des vaisseaux, Boyer L. et Gueret P., Springer, Ed 2014.
- 11 chapitres didactiques et états de l'art publiés entre 2010 et 2014.

La plateforme de recherche est utilisée régulièrement dans le cadre de formations aux techniques de radiologie interventionnelle basées sur la simulation et le cathétérisme animal (6 ateliers annuels accueillant 80 stagiaires en moyenne).

Brevets / Créations de sociétés

Création de deux startups en 2013 :

- Catopsys : valorisation des résultats du projet ANR Catopsys coordonné par L Sarry entre 2006 et 2010 et du brevet WO2009022087 A3 publié en 2009 et dont les extensions PCT ont commencé en 2010 ; lauréat 2013 du Concours National d'Aide à la Création d'Entreprises de Technologie Innovante dans la catégorie Création.
- Reoviz (M Chevaldonné).

Relations partenariales / Impacts

Chaque sous-thème de CaVITI a des partenaires industriels privilégiés :

- Sous-thème 1 : P Motreff (cardiologie) a été le premier à disposer de la technologie OCT endovasculaire en France et en Europe. Un partenariat a d'abord été établi avec Saint-Jude Médical qui a mis à disposition gratuitement une console OCT et des guides, puis plus récemment avec Terumo qui a financé une thèse (96k€) par la Fondation de l'Université d'Auvergne.
- Sous-thème 2 : B Miguel (chirurgie cardiaque et vasculaire) a obtenu un financement de 5k€ de Medtronic, fabricant de matériels cardiaque et vasculaire), qui ont servi à financer des stages et congrès.
- Sous-thème 3 : une convention CIFRE a été contractualisée avec Histalim par A Abergel (hépatologue) sur la partie marqueurs en imagerie histologique et P Chabrot (radiologue) a obtenu 2 bourses de recherche pour la création d'un gel d'embolisation en collaboration avec le laboratoire des biomatériaux de l'Université de Montréal.
- Sous-thème 4 : partenariat avec la société Keosys dans le cadre du projet ANR 3DStrain coordonné par L Sarry (100k€ investis par le partenaire industriel) et une convention CIFRE.

Notre objectif est de faire en sorte que ce soutien partenarial se concrétise par une véritable valorisation industrielle des méthodes développées, la plupart étant en cours de validation clinique actuellement.

Analyse SWOT

Forces

- Interdisciplinarité avec une collaboration établie entre composantes médicales et non médicales.
- Plateau technique important (IRM 3T recherche, salle radio-chirurgicale hybride, OCT, CathLab).
- Thématiques de recherche en adéquation avec une expertise clinique nationale et européenne.
- Volet pédagogique au plan fondamental (master 2 Technologie pour la Médecine avec un parcours médecin) et clinique (thérapies mini-invasives).
- Quelques projets nationaux en coordinations au niveau méthodologique (ANR 3DSTRAIN et projets régionaux), ou en recherche clinique.

Faiblesses

- Multiplicité des sites (Clermont – Le Puy).
- Problème de la distance.
- Stratégie de site.

- Tendance à la dispersion thématique, en particulier avec applicatif non médical.
- Temps recherche limité (enseignants-chercheurs IUT et hospitalo-universitaires).
- Coordination de projets nationaux et européens à développer pour augmenter la visibilité du thème CaVITI.

Opportunités

- Restructuration.
- Recentrage des thématiques.
- Suivi de projet.
- Formalisation du temps recherche.
- Soutien hospitalier.
- Mise en place d'une plateforme d'imagerie du vivant en collaboration avec l'INRA et le Centre Jean Perrin.

Risques

- Politique stratégique des composantes à réévaluer (enseignement / recherche).
- Multiplication des recherches cliniques multicentriques hors thématiques portées par des CHU extérieurs.

2.2.3. Thème IGCNC

Personnels

Jérôme COSTE (Igr, PhD, 69, 49, UDA, CHU), Fabien FESCHET (PU1-HDR, PhD, 27, UDA), Jean GABRILLARGUES (PH, MD, 43, UDA, CHU), Toufik KHALIL (PH, MD, 49, UDA, CHU), **Jean-Jacques LEMAIRE** (PU1-HDR, MD, PhD, 49, UDA, CHU), Bénédicte PONTIER (PH, MD, 49, UDA, CHU), Sarah ROSENBERG (PH, MD, PhD, 49, UDA, CHU), Catherine SARRET (PHU, MD, PhD, 54, UDA, CHU), Adrien WOHRER (MC, PhD, 26, UDA)

Associés

Jean CHAZAL (PUEX, HDR, MD, 42, directeur UFR Médecine, UDA, CHU), Bernard IRTHUM (PUEX, HDR, MD, 49, UDA, CHU), Denys FONTAINE (PU, HDR, MD, PhD, 42, Nice-Sophia-Antipolis), Thierry GILLART (PH, MD, 48, UDA, CHU)

Doctorants

Thèse soutenue : Laurent SAKKA (CDO, hôpital, Janv. 2015)

Thèses en cours (6) : Guillaume COLL (CHU, MD-MSc, Oct. 2014), Quentin DANIEL (A, MSc, Oct. 2014), Hachemi NEZZAR (CHU, MD-MSc, Oct. 2012), Basile ROCHE (A, MSc, Oct. 2012), Anna SONTHEIMER (Assoc., MSc, Oct 2014), François VASSAL (CHU, MD-MSc, Sept. 2011)

Post-Doc (PD) & Personnels Contractuels

Véronique GERMAIN (Igr, PhD, 16, UDA, CHU)

Collaborateurs administratifs

Sylvie ROUX (ISIT, UDA, CHU)

Identité scientifique

Le thème **Image Guided Clinical Neuroscience & Connectomics** est né de l'équipe de recherche EA 7282 (Image Guided Clinical Neuroscience & Connectomics, IGCNC) de l'Université d'Auvergne (UDA) créée ex-nihilo le 5 avril 2012 (notée A). La création d'IGCNC a fait suite à la conjonction de deux éléments : 1- la création de l'axe scientifique à partir de l'activité de recherche spécifique en neurochirurgie de l'ERIM (EA 3295 UDA) soutenue par l'Inserm et l'ITMO santé technologie (séjour d'un an aux USA, JJ Lemaire); 2- l'arrivée d'un chercheur en informatique (F Feschet) qui a mis en place la recherche méthodologique, suite à une reconversion thématique (géométrie discrète, LAIC UBP).

L'équipe interdisciplinaire relève de deux domaines scientifiques: sciences du vivant et environnement (SVE), domaine disciplinaire biologie/santé, sous domaine neurosciences; sciences et technologies (ST), domaine disciplinaire sciences pour l'ingénieur et sciences et technologies de l'information et de la communication. Les sections CNU correspondantes des membres de l'équipe sont 27 (informatique) et 26 (mathématiques appliquées et applications des mathématiques), et en santé 43-02 (radiologie et imagerie médecine), 49-02,05 (neurochirurgie; médecine physique et réadaptation) et 54-01 (neuropédiatrie).

Le champ scientifique est celui des neurosciences guidées par l'image et la connectomique (étude du réseau de connexions intra encéphaliques), contraintes par le domaine applicatif clinique. Il se développe autour d'un axe central d'application, la connectomique fonctionnelle clinique (fonctions neurologiques cliniques et les connexions les supportant). Les actions sont menées (1) sur la cartographie cérébrale (représentation cartographique de l'anatomie cérébrale; brain mapping) qui a fondé le projet applicatif, (2) la connectomique fonctionnelle clinique, et (3) les études cliniques en lien avec la cartographie et la connectomique. L'historique de l'équipe, le déploiement d'une stratégie scientifique pragmatique et les profils des chercheurs, expliquent la prépondérance actuelle des travaux de cartographie et les applications cliniques liées. La démarche permet de réelles avancées pour le soin, améliorant par exemple sécurité et efficacité pour l'implantation d'électrodes de stimulations cérébrales profondes. Elle ouvre également un large champ de recherche sur la neuromodulation (modulation d'activité neuronale) basée sur la cartographie et la connectomique fonctionnelle, personnalisées. L'interdisciplinarité ouvre le champ scientifique à des prolongements méthodologiques et cliniques faisant l'objet d'évaluation au travers de validations méthodologiques et d'études cliniques.

Le périmètre scientifique est novateur car il vise à intégrer la connectomique à une échelle macroscopique, traduite à l'échelle des voxels, en neurosciences cliniques, en guidage diagnostique et thérapeutique par l'image, dans un contexte d'interdisciplinarité. Le thème repose au plan opérationnel sur l'interaction entre 3 sous-activités transversales :

- L'activité cartographie d'imageries cérébrales se caractérise par la personnalisation de la cartographie cérébrale en s'appuyant sur l'imagerie IRM clinique. Notre démarche consiste en une identification et labellisation directe, individualisée, des données anatomo-fonctionnelles cérébrales. Sur un plan méthodologique, elle requiert des méthodes prenant en compte les spécificités des cerveaux pathologiques. L'individualisation des traitements conduit à limiter le recours à des atlas et à extraire préférentiellement la sémantique des images.
- L'activité connectomique fonctionnelle clinique consiste en l'intégration clinique de la connectomique cérébrale à partir d'informations anatomo-physiopathologiques issues de connaissances a priori et de celles issues des domaines applicatifs, propres à l'équipe ou collaboratifs. La connectomique est spécifiquement clinique car elle prend en compte le dysfonctionnement cérébral consécutif aux pathologies et elle est formalisée au niveau macroscopique. Nous mettons en place l'espace d'intégration des éléments pertinents via des groupes de travail interdisciplinaires.
- L'activité applications en neurosciences cliniques décline les résultats des travaux en cartographie et connectomique, dans des études visant à améliorer des pratiques et proposer de nouvelles applications thérapeutiques ou diagnostiques en stimulation cérébrale profonde (Deep Brain Stimulation, DBS) notamment à des patients souffrants d'un handicap neurologique sévère. Dans ce cadre nous sommes amenés à développer des analyses complémentaires comme par exemple le traitement du signal électro-encéphalographique (EEG) pour détecter des potentiels évoqués par DBS.

Organisation et vie de l'entité

L'organisation fonctionnelle de l'entité est celle d'une EA mono équipe de taille réduite, mono site et interdisciplinaire : 9 personnes ; 1 directeur, JJ Lemaire ; J Coste gère les liens avec l'UDA, notamment GRAAL, et F Feschet ceux avec le domaine ST; tous les mois ou 2 mois, J Coste ou JJ Lemaire sont invités au conseil d'ISIT. L'équipe se réunit 2 fois / semaine, tout le monde étant convié, pour traiter d'une part des questions pratiques et techniques et d'autre part de la stratégie scientifique, du suivi des programmes et réalisations, des projets et des financements (matériel, personnel...) et de l'accueil de stagiaires (licence, master ou autres). Les choix et l'évaluation de la participation des chercheurs dans les projets et travaux prennent systématiquement en compte la dimension interdisciplinaire.

L'entité est hébergée au Centre Hospitalier et Universitaire (CHU) de Clermont-Ferrand dans l'Hôpital Gabriel Montpied depuis Juillet 2011, à proximité du service de neurochirurgie.

Un site Web de l'UDA fournit des informations générales (<http://www.u-clermont1.fr/igcnc.html>). Il est en cours de modification (resp. A Wohrer pour l'équipe; en lien avec le service de développement de l'UDA). Pour l'imagerie, l'équipe utilise la plateforme IRM du CHU (Pr L Boyer, Dr B Jean ; Pr F Durif) et collabore avec le service de médecine nucléaire du Centre Jean-Perrin pour le Pet Scan (Pr F Cachin, Dr D Mestas, Dr A Kelly).

L'équipe a une politique de protection des données médicales des patients et sujets sains (anonymisation des images ; avis des instances locales de recherche pour la création des bases de données). Les outils informatiques partagés, et ceux par chercheur, sont dans les locaux de l'EA ; les bi-appartenants utilisent indifféremment selon les besoins du programme de recherche le réseau de l'université ou celui du CHU (notamment le PACS, réseau imagerie médicale ; accès sécurisé), les mono-appartenants non médecins n'ont accès qu'au réseau universitaire.

La politique de recrutement vise les deux domaines scientifiques, ST au travers de l'UDA, comme en témoigne le recrutement d'A Wohrer (section 26), et SVE, au travers du CHU (praticiens hospitaliers et HU). Les formations et déplacements des chercheurs sont pris en charge sur : le budget propre de l'équipe (15K€/annuel), les fonds levés sur projet, le développement personnel continu (DPC) ou la DRCl (direction à la recherche clinique et à l'innovation) du CHU, des prises en charge académiques spécifiques, des aides de l'industrie, et des fonds personnels.

Le budget de fonctionnement global a été de 82 K€ en 2013 et 129,7 K€ en 2014. Les crédits propres de fonctionnement provenant de l'UDA représentaient respectivement en 2013 et 2014, environ 18% et 11% (cf. fichier Excel, Contrat en cours).

Contexte

L'EA 7282 appuie toute sa stratégie d'actions sur une recherche interdisciplinaire développant, d'une part de nouvelles méthodes diagnostiques et thérapeutiques pour améliorer la prise en charge médicale des patients, et d'autre part des outils méthodologiques tenant compte de la dimension clinique du champ d'application. Ceci est fondé sur le paradigme d'un circuit court entre recherche et application afin d'assurer que les patients en bénéficient au fur et à mesure des avancées scientifiques validées. Cette recherche contrainte prend donc en compte les paramètres du soin, imposant de trouver des solutions innovantes interdisciplinaires pour être opérationnelles rapidement. Cette démarche reste encore rare au niveau national et international ; les retombées médicales, scientifiques et économiques envisageables, et celles déjà réalisées, sont importantes.

La cartographie cérébrale individualisée ou personnalisée, historiquement à l'origine de la thématique de recherche de l'équipe (première visée directe pure pallidale en neurochirurgie fonctionnelle; *Lemaire et al 1999*), reste un élément structurant majeur des développements scientifiques et applicatifs.

Les séquences d'IRM structurales, *in vivo*, sont améliorées, en conditions clinique, sur nos machines clinique et recherche (*J Gabrillargues, JJ Lemaire*), notamment à 1,5 Tesla, champ le plus couramment utilisé en médecine dans le monde. Nous avons ainsi créé une séquence dédiée d'IRM structurale qui optimise le rapport signal/bruit des régions profondes, en tenant compte des nombreuses contraintes pratiques (symptômes, limites techniques de la machine, conditions stéréotaxiques). La séquence a été appelé WAIR pour White matter Attenuated Inversion-Recovery. Il s'agit d'une séquence en Turbo Spin Echo et Inversion-Récupération qui révèle des nuances structurales des noyaux gris centraux, fournissant une signature architecturale permettant de cartographier directement la plupart des objets anatomiques du cerveau profond, là où la plupart des séquences publiées ne révèlent qu'une partie de ces informations. Ceci permet d'identifier des régions anatomiques directement sur les images, puis de les segmenter et les labelliser (objets anatomiques). Ce travail reste manuel à ce jour. Son automatisation fait partie des voies de recherche (*doctorant Q Daniel*). Les objets segmentés servent de support pour le planning chirurgical, triplanar et 3D, du placement d'électrodes DBS, ainsi que le contrôle post opératoire et l'analyse des effets. Nous intégrons ainsi des données anatomo-fonctionnelles à l'échelle individuelle, personnalisées, ouvrant la voie à de nombreux développements en neuromodulation. Cette approche originale apparait comme une voie de passage importante pour les équipes travaillant sur la neuromodulation. Les outils méthodologiques développés dans ce cadre visent à l'amélioration des images en termes de résolution spatiale et de contraste en conservant une durée d'acquisition raisonnable pour les patients; les directions actuelles de recherche sont de nouvelles techniques de reconstruction d'image (*Master Q Daniel*; utilisation d'interpolation transfinie applicable à toutes les acquisitions en IRM structurale, en particulier l'acquisition WAIR), et l'exportation de la séquence WAIR à 3T (*Master R Zerroug*; recherche des paramètres pour optimiser la WAIR en bénéficiant de la puissance du champ pour réaliser, lors de la même séance d'acquisition, des séquences d'IRM fonctionnelle [IRMf] et de tenseur de diffusion [DTI] plus performantes à 3T qu'à 1,5T). Globalement au plan applicatif nous souhaitons améliorer et étendre l'identification de structures anatomiques dans le cerveau profond, e.g. noyaux gris centraux, faisceaux, région tegmentale, et région ponto-mésencéphalique.

La connectomique fonctionnelle clinique est issue de la notion de connectomique (*Sporns, O et al, PLoS Comput Biol, & Hagmann, P, 2005*) se proposant de décrire le réseau de connexion du cerveau humain, initialement essentiellement pour le cerveau sus-tentorial, hémisphérique et diencephalique. La description exhaustive de ce réseau, objectif principal de ce nouveau champ scientifique transdisciplinaire, est encore lointaine tant la complexité est grande. La connectomique peut être abordée à de multiples échelles, nanoscopique, celle de la biologie moléculaire, microscopique celle du neurone, mésoscopique celle de champs neuronaux (e.g. mini colonnes corticales) et macroscopique celle de l'anatomie. La compréhension fonctionnelle du réseau structurel est encore très partielle ; la dimension fonctionnelle est le plus souvent abordée sous l'angle de la simulation *in silico* ou de modèles biologiques simplifiés (*Bullmore & Sporns 2009; Friston 2009*).

Nous nous sommes positionnés sur l'analyse et la description des connexions et des fonctions à l'échelle des voxels, soit dans des volumes élémentaires de l'ordre de quelques dizaines de mm³. Les connexions sont celles supportées par des *faisceaux de substance blanche* ; un faisceau est un groupe de fibres nerveuses ou axones, entourés ou non d'une gaine appelée myéline, organisés en paquets fortement anisotropes, et dont les limites sont visibles en microscopie. Les faisceaux sont révélés en tractographie par DTI. Les fonctions et dysfonctions cérébrales (système sensori-moteur, praxies, gnosies et langage) sont celles observées en cliniques (examen sémiologique, tests neuropsychologiques) et celles issues de données fonctionnelles (e.g. enregistrement électrophysiologique d'activité neuronale extracellulaire et potentiels de champs locaux, imagerie fonctionnelle et métabolique). Les informations d'IRMf, basées sur le signal BOLD (blood-oxygen-level dependent), sont associées à des taches en IRM d'activation, ou des conditions de

repos révélant le mode de fonctionnement par défaut du cerveau (DMN pour Default Mode Network). La plupart des équipes étudiant l'information du DMN analysent les liens temporels et fréquentiels entre des régions cérébrales de matière grise, essentiellement corticales, recherchant une causalité en observant le signal par voxel (e.g. analyse en composantes indépendantes). Nous appliquons ces méthodes pour identifier des régions fonctionnellement pertinentes en clinique (environnements SPM et FSL).

Nous étudions plus particulièrement les liens topographiques entre les faisceaux et les régions d'activation métabolique du signal BOLD révélées en IRMf d'activation (*Lemaire et al 2010* ; *doctorant F Vassal*).

L'étude de connectomes spécifiques est un point clé de cette action car fonction et structure sont liées et la complexité du fonctionnement cérébral justifie une approche holistique et par grandes fonctions (selon l'état des connaissances). Nous étudions spécifiquement les connectomes, du langage (*doctorant F Vassal*), des voies non visuelles de la vision (*doctorant H Nezzar*), et de la conscience (*doctorante A Sontheimer*). L'individualisation de connectomes, est directement utilisable pour le guidage par l'image, en implantologie (électrode DBS), en neurochirurgie d'exérèse ou en radiochirurgie, ainsi que pour permettre des diagnostics topographiques de lésions. En neuroscience générale, la description de connectome est aussi un enjeu majeur (cf. e.g. conférences invitées). Le connectome du langage est actuellement le plus abouti dans l'équipe. Les faisceaux connectant les régions corticales impliquées dans le langage ont pu être déterminés précisément et des travaux cliniques ont montré l'impact de la stimulation intra opératoire de certains d'entre eux (faisceau frontal oblique ; *Vassal et al, 2013*).

Les applications en neurosciences cliniques des deux actions précédentes sont un point spécifique d'IGCNC ; cette caractéristique repose sur l'interdisciplinarité qui façonne les projets en amont pour que les produits de la recherche soient transférables. Les produits ne sont néanmoins pas exclusivement limités à la dimension de transférabilité clinique, notamment ceux issus de travaux méthodologiques. Dans le cadre applicatif, nous menons nos propres études tout en participant à des études collaboratives, jusqu'à des transferts vers l'industrie biomédicale. Ceci est réalisé dans le respect des règles de bioéthique assurant la protection des personnes.

Nous étudions ainsi le dysfonctionnement cérébral associé à un trouble sévère de la conscience. Ainsi dans l'étude des comportements conscients sous DBS, nous analysons : (1) par exemple l'activation cérébrale, notamment limbique, en IRMf sous stimulation émotionnelle (*doctorante A Sontheimer*) ; (2) les modifications induites par la stimulation, par exemple les modifications métaboliques en PetScan (*doctorant B Roche*) et cliniques (comportements, tonus ; selon les paramètres de stimulation ; *doctorante A Sontheimer, doctorant H Nezzar, B Pontier*). Des analyses spécifiques ont été réalisées pour l'étude de potentiels évoqués EEG par stimulations centro-thalamiques et pallidales à très basse fréquence (2 Hz) (*S Rosenberg ; F Feschet*). Sur le plan méthodologique l'analyse métabolique PetScan (comparaison de deux conditions : sous stimulation chronique, ON_Stim versus avant stimulation, OFF_stim) a été conçue et réalisée pour s'adapter à la fois la particularité des patients ayant des lésions cérébrales très sévères, et aussi pour une applicabilité plus large. Nous analysons l'augmentation ou la diminution du métabolisme par voxel, individuellement, avec normalisation par le métabolisme cérébral moyen. Nous étudions ensuite la variation, i.e. si la variation va ou ne va pas dans le sens d'une normalisation, en comparant chaque patient à groupe témoin ; le groupe témoin ayant été standardisé et résumé sous la forme d'un individu-témoin moyen, puis recalé pour comparaison avec chaque patient. A partir des travaux engagés sur les comportements conscients de cérébrolésés graves, nous avons étendu l'analyse du connectome de la conscience (plus précisément celui lié aux comportements conscients volontaires) à des patients moins sévères (étude IRM cognition TC). Les patients ont une évaluation détaillée des comportements conscients et des lésions cérébrales (*B Pontier, V Germain ; doctorante A Sontheimer*), notamment celles des faisceaux inter lobaires (*Master E DeSchlichting*). Ces bilans sont répétés sur 2 ans pour mesurer l'évolution, fonctionnelle et structurelle, de la connectomique fonctionnelle clinique des patients.

Nous avons étendu l'analyse des faisceaux à la population pédiatrique, et spécifiquement aux enfants souffrants de pathologie de la myélinisation cérébrale. Ce travail a débuté en étudiant le degré de diffusion et d'anisotropie fractionnelle de régions de matière blanche. Il s'agit d'une étude de patients porteurs de pathologies génétiques rares (leucodystrophies) affectant la formation de la myéline cérébrale, à partir des données obtenues sur plusieurs années de suivi (AU788, CNIL 1406552, AFSSAPS B90298-60 ; *C Sarret ; O Boespflug-Tanguy, Inserm U1141*).

Réalisations

Elles s'intègrent dans le champ scientifique général des neurosciences guidées par l'image et la connectomique et sont déclinées en développements méthodologiques, applicatifs et technologiques par sous-axes. L'expertise des personnels de l'équipe et sa récente structuration explique que la dimension technologique n'est présente que par collaboration, avec un laboratoire (Suisse) ou des industriels.

1. Cartographie avancée pour des applications *in vivo*

Dans cette section nous décrivons d'abord des travaux méthodologiques et technologiques car de nombreux travaux applicatifs les ont précédés et sont en cours ; ils se développent donc plus vite en interdisciplinaire.

Développements méthodologiques et technologiques

- **Cartes individuelles de variations métabolique 18F-FDG Pet-Scan**

Dans l'étude clinique NCT01718249 (Study of Conscious Behavior Under Low-frequency Deep Brain Stimulation in Chronic and Severe Post-coma Disorders of Consciousness), s'est posée la question générique de la comparaison de deux examens TEP (Tomoscintigraphie par émissions de positons) utilisant le radio traceur 18-FDG. La mesure TEP étant variable dans le temps pour un même individu, une correction de chaque examen est nécessaire ainsi qu'une normalisation utilisant la moyenne d'activité sur l'ensemble du cerveau (CGM). Nous avons proposé et mis en œuvre (doctorant B. Roche) une méthode à base de fonction logarithme des examens normalisés pour obtenir une mesure voxel par voxel des modifications en TEP entre la phrase pré-DBS et post-DBS. Le résultat obtenu est une carte des variations quantifiées des variations de métabolisme entre les deux conditions. Parallèlement à cela, nous avons déterminé l'espace de stabilité des extremums de la carte comme fonction de la normalisation effectuée. Cela permet de connaître la stabilité de la carte produite si la normalisation venait à être modifiée. Ce point est particulièrement crucial pour les patients cérébrolésés pour qui le calcul de la CGM est fortement impacté par l'ensemble des lésions présentes, impactant directement la robustesse de cette normalisation. Ce travail a fait l'objet d'une présentation à la conférence Brain 2015 (International Society for Cerebral Blood Flow & Metabolism, Vancouver).

- **Reconstruction 3D haute résolution d'images IRM WAIR**

Les conditions cliniques liées à l'acquisition WAIR nécessaire à la visée directe des structures du cerveau profond résultent d'un compromis entre performance de détection et faisabilité opérationnelle. Le temps d'acquisition de la séquence conduit à privilégier en routine clinique une acquisition de type coronal. Les autres plans ne sont pas acquis en usage clinique. Afin de disposer d'une imagerie WAIR de référence, à la fois pour aider à la segmentation automatique des structures et disposer d'un espace d'expression de la connectomique clinique, nous avons proposé de construire un volume isotrope d'acquisition WAIR d'un sujet sain (Master Q. Daniel). La méthode utilise une approche originale par décomposition de l'espace d'acquisition via l'arrangement d'hyperplans des plans supports des coupes IRM et une interpolation transfinie dans les cellules convexes qui résultent de cette décomposition. La méthode permet d'obtenir un volume isotrope avec des voxels d'une résolution de 0,26 mm de côté pour des acquisitions anisotrope de 0,52 mm sur le plan de coupe et 2 mm d'espacement.

- **Accélérométrie**

Dans l'étude clinique A00774-37, nous avons utilisé l'accélérométrie comme méthode quantitative d'évaluation du mouvement afin d'estimer son intérêt pour l'optimisation du positionnement de l'électrode de stimulation chronique. Nous avons cherché des corrélations entre les paramètres descriptifs des mouvements, les données électrophysiologiques ainsi que les données de localisation obtenues par l'IRM. La cible thérapeutique était la région du noyau sous-thalamique ou du noyau ventromédial intermédiaire du thalamus. Ce travail financé par le Fonds National Suisse (FNS) et le programme Germaine de Staël est le fruit d'une collaboration étroite avec l'IMA (Institute for Medical and Analytical Technologies from the University of Applied Sciences and Arts, Northwestern Switzerland) dirigé par E. Schkommodau (PhD) et en particulier avec S. Hemm-Ode (PhD) qui a encadré 3 étudiants de licence et un doctorant (*A. Shah*) pour la mise en œuvre de l'accéléromètre, du système de synchronisation, du logiciel d'extraction et d'enregistrement des données. Ce travail a fait l'objet de 16 communications en congrès, et un travail est soumis pour publication. De nouveaux financements sont envisagés pour poursuivre l'analyse des nombreuses données collectées avec notamment l'intégration des champs électriques autour des électrodes de stimulation cérébrale profonde (collaboration étendue avec l'équipe du Pr Karin Wårdell, responsable du Minimally Invasive Instrumentation Group, Linköping University, Suède).

Développements applicatifs

- **Extension de l'atlas 4,7T à la région ponto-mésencéphalique**

Nous avons réalisé un atlas anatomique du cerveau profond humain (spécimen anatomique), contenant des objets anatomiques labellisés, à partir de coupes IRM haute résolution (voxel de $250 \mu\text{m}^3$) acquises à 4,7

Tesla sur une machine de l'INRA de Theix (collaboration JM Bonny ; e.g. Lemaire et al, 2010). Cet atlas est en cours de transfert vers l'industrie biomédicale. Nous avons étendu l'analyse à la partie haute du tronc cérébral, et notamment à la région tegmentale ponto-mésencéphalique, pour permettre aux équipes de neurosciences d'étudier plus précisément ces régions peu connues. Ce travail doit servir notamment à localiser topographiquement la position d'électrodes DBS par rapport au noyau pédonculo-pontin tegmental, en collaboration avec des équipes médicales (CHU de Nice et de Grenoble).

- **Potentiel de champ**

Grâce à un financement partiel de la Fondation de l'Avenir (ET7-455) obtenu en 2007 dans le cadre du projet clinique «Développement d'outils d'électrophysiologie pour l'aide à la localisation et à la compréhension des mécanismes physiopathologiques durant l'implantation d'électrodes de stimulation cérébrale : mesure de conductivité et enregistrement du potentiel de champ local» (2007-A01201-52), nous avons ajouté en 2009 l'enregistrement du potentiel de champ local (LFP ; équivalent de l'électroencéphalogramme, recueilli ici dans des régions cérébrales profondes) à l'enregistrement de l'activité unitaire extracellulaire. Le LFP présente l'avantage d'être un signal résultant de l'activité électrique d'une population neuronale, à une échelle millimétrique plus proche de la physiopathologie et des effets de la DBS.

2. Connectomique fonctionnelle clinique

Dans cette section nous décrivons d'abord des travaux applicatifs car c'est d'eux qu'est issu l'axe scientifique de recherche central d'IGCNC sur la connectomique fonctionnelle clinique.

Développements applicatifs

- **Analyse du cerveau profond (régions des ganglions de la base et du thalamus) et du circuit du langage**

Les travaux fondateurs de l'équipe en connectomique clinique issus de la cartographie structurelle ont été complétés par l'étude des faisceaux, dès que les premiers travaux de tractographie ont montré que l'on pouvait extraire *in vivo* la macro architecture de la matière blanche (LeBihan 2003, Tuch 2004, Lazar 2004, Hagmann 2003) : (1) par une collaboration industrielle (BrainLab) en 2004 pour implémenter la tractographie dans un environnement logiciel clinique (Iplan) (e.g. Lemaire 2007, NeuroImage); (2) par une étude tractographique à 3T du cerveau profond (e.g. capsule interne, tegmentum) en 2007 (collaboration S Mori, Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, Maryland, USA, et L Hermoye, Saint-Luc University Hospital, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgique ; Lemaire et al. 2011, Neurochirurgie). Ces travaux applicatifs ont permis de déterminer avec précision la macroarchitecture à l'échelle du voxel, du *cerveau profond*, ce qui n'avait pas été réalisé jusqu'alors avec autant de détails pertinents au plan anatomique et clinique. Ils ont aussi montré que la tractographie apportait des informations pertinentes avec des méthodes déterministes et un nombre limité de directions pour décrire les tenseurs. Nous avons étendu l'exploration à l'*hypothalamus humain* (collaboration UCLA, A DeSalles, Los Angeles, USA ; financement Inserm-ITMO santé-technologie, J Grassi ; Iplan ; JJ Lemaire et al. Brain Res. 2011). Dans ce cadre, nous avons initié une réflexion scientifique internationale sur le thème qui a abouti à l'organisation du premier symposium sur la connectomique du cerveau profond à Clermont-Ferrand en 2012 (Deep Brain Connectomics 2012).

- **Connectome du langage**

L'étude de la connectomique fonctionnelle du langage a été initiée en collaboration avec le Surgical Planning Laboratory (SPL, Harvard, R Kikinis & F Jolesz, Boston, USA ; participation au développement du module de tractographie par sphères mobiles dans l'espace 3D, Slicer3D, financement Inserm-ITMO santé-technologie, J Grassi); elle a concerné le circuit cortico-cortical du langage (JJ Lemaire et al. Brain Topogr., 2012). Dans la continuité nous étudions le connectome du langage de manière extensive par une nouvelle étude prospective sur sujets sains (*doctorant F Vassal*); elle est terminée et en cours d'écriture pour soumission.

- **Exploration IRMf des régions cérébrales activées par stimulation émotionnelle**

Ce travail a débuté en parallèle à la mise en place de l'étude des comportements conscients sous DBS pour évaluer l'activité consciente, « covert », résiduelle lors d'états neurovégétatifs chroniques ou pauci relationnels. Nous avons ainsi exploré en IRMf, chez des sujets sains, les structures cérébrales mises en jeu par des activations auditives à charge émotionnelle graduée. Le travail est terminé et en cours d'écriture pour soumission (*doctorante A Sontheimer*). Les résultats nous offrent une référence normale de contrôle pour comparer l'activité résiduelle consciente des patients non ou peu communicants ayant le même protocole d'IRMf d'activation.

- [Exploration des voies non visuelles de la vision](#)

Le travail a débuté par l'encadrement d'une thèse en médecine sur l'analyse tractographique du système cérébral des saccades oculaires (*F Tardif 2014* ; directeur *H Nezzar*). Cette étude préliminaire a permis d'évaluer l'analyse tractographique dans ce champ applicatif encore peu exploré (en dehors des radiations optiques). Le travail actuel consiste à l'exploration de voies issues de l'anse lenticulaire (faisceau de la capsule interne) et qui participe à la fonction visuelle (*doctorant H Nezzar*). Le travail n'est pas terminé en raison d'un séjour d'un an à l'étranger (Arabie Saoudite et USA) du doctorant.

- [Développements méthodologiques sur l'intégration des informations structurelles et fonctionnelles](#)

Nous créons une base de données de labels pour 450 structures anatomiques encéphaliques et plus de 1000 faisceaux (*stages M1*), qui servira de support à la spatialisation de l'information, c'est-à-dire situer dans l'espace anatomique les faisceaux et les régions cortico-nucléaires. Nous avons aussi extrait les objets anatomiques labélisés (près de 3700 structures segmentées et labellisées ; *F Feschet*) de la base de données clinique des patients implantés (DBS) pour étudier les caractéristiques topographiques et structurelles de ces objets. L'objectif est d'intégrer ces informations pour construire un modèle et le rendre analysable dans un espace anatomique standardisé. Il sera ensuite transposé dans l'espace anatomo-fonctionnel de chaque patient.

3. Applications médicales avancées

Bilan et traitement de patients cérébrolésés

A partir de la méthode de cartographie personnalisée pratiquée en routine clinique au CHU de Clermont-Ferrand sur des cerveaux de morphologie quasi normale (parkinson, tremblement essentiel, dystonie), nous avons réalisé des cartes personnalisées chez des patients souffrant de cérébrolésions très sévères (étude NCT01718249 clinicaltrials), où jusqu'alors il n'était pas possible d'atteindre une telle précision topographique (échelle de l'ordre du voxel). Cette étape récemment franchie ouvre des perspectives pour d'autres applications dans le domaine des cérébrolésions, quelle qu'en soit la cause.

Etude de l'hypo myélinisation

L'étude de l'hypo myélinisation chez des patients pédiatriques et adultes souffrant d'un trouble génétique rare de maturation de la substance blanche a été réalisée et est soumise pour publication (*Time-course of myelination and atrophy on cerebral MRI in 35 patients with PLP1-related disorders*). L'étape actuelle est l'analyse des principaux faisceaux lésés (DTI quantitative et tractographie) dans la maladie de Pelizaeus-Merzbacher et la paraplégie spastique de type 2 : faisceau pyramidal (*Master 1 Y El Ouadi*), radiations optiques (*Master 1 T Gauthier*).

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques		
#89	cartographie d'imageries cérébrales	4.7-Tesla Magnetic Resonance Imaging Atlas of Human Deep Brain
#90	cartographie d'imageries cérébrales	3D MRI reconstruction based on transfinite approximation
#91	cartographie d'imageries cérébrales	Variation Maps of 18F-fluorodesoxyglucose Pet-Scans of Severe Brain Injured Patients: Individual Comparison of Deep Brain Stimulation in On and Off Conditions
#92	cartographie d'imageries cérébrales	Set-up of combined accelerometry, electrophysiology and clinical assessments during DBS
#93	cartographie d'imageries cérébrales	Contribution of the recording of local field potential during deep brain stimulation
#94	connectomique fonctionnelle clinique	Mapping the structural connectivity of language with DTI tractography
#95	connectomique fonctionnelle clinique	Processing of speech with graduated emotional charge: an fMRI study to detect residual capacity in patients with disorders of consciousness
#96	applications en neurosciences cliniques	DBS Targeting in Brain Injured Patients with Severe Anatomical Lesions
#97	applications en neurosciences cliniques	Time-course of myelination and atrophy on MRI in PLP1-related disorders

Nous avons ajouté des travaux ayant débuté avant la constitution récente de l'EA 7282, car ils ont structuré le thème IGCNC (#89) ou ne sont que depuis peu en phase de réalisation opérationnelle (#96).

Production scientifique

La production globale est 113 ACL, ASCL et ACLN, soit une moyenne annuelle (5,5 ans) soit un peu plus de 2 articles en moyenne par personne et par an. Ce chiffre est lié à la présence d'acteurs de disciplines différentes travaillant sur un mode de bi appartenance, U-recherche et U-enseignement, U-recherche et U-enseignement et H, H-recherche et H. Les publications du champ scientifique représentent 25% (n=23) et sont classées ci-dessous par rang (quartiles de Q1 à Q4) dans la discipline (Institute for Scientific Information, ISI Web of Knowledge), puis par IF décroissant. Les publications hors champ (n=90) sont classées par discipline ISI Web of Knowledge.

La prise de risque en interdisciplinaire se retrouve directement dans les publications. Il est en effet encore difficile de publier dans des journaux à hauts IF sélectionnant pour la plupart des travaux mono ou multi disciplinaires, plutôt qu'interdisciplinaires. La multitude de sollicitations pour publier dans des journaux Open Access, même d'éditeurs majeurs, illustre le besoin de diversification de la valorisation des publications scientifiques, en particulier interdisciplinaires.

Publications, communications orales, ouvrages et logiciels sur la période 2010 - Mai 2015	Nombre
<p>ACL-ASCL-ACLN champs scientifique IGCNC (* journal de la section CNU 49-02) (IFMoy = 3.348 ± 2.745 ; 0.319, 9.915)</p> <p><u>Axe de recherche</u> (13) Surg Neurol Inter (no IF) Brain (Q1 ; 9.915) Brain Stim (Q1 ; 4.538) <u>Travaux liés</u> (10) Brain Topo (Q1 ; 3.671) Neurology (Q1 ; 8.249) x2 Neurosurgery (Q1 ; 2.532) J Clin Endocrinol Metab (Q1 ; 6.43) J Alzheimer Dis (Q2 ; 4.174) J Neurol Neurosurg & Psy (Q1 ; 4.924) Acta Neurochir (Q2 ; 1.546) Neuropsychologia (Q2 ; 3.477) Brain Research (Q3; 2.979) Neuroscience (Q2 ; 3.122) Biomed Tech (Berl ; Q3; 1.157) J Neurol Sci (Q2 ; 2.243 ;) Br J Neurosurgery (Q3; 0.858) x 2 Stereotac Func Neurosurg (Q2; 1.458) An Fr Anes-Réa (Eng ; Q4 ; 0.841) Neurosurg Clin North Am (Q3; 1.9) Neurochirurgie* (Eng ; Q4 ; 0.319) Neurochirurgie* (Fr; Q4 ; 0.319)</p>	23
<p>ACL-ASCL-ACLN - hors champ (IFMoy = 3.002 ± 2.968; 0.236; 11.202)</p> <p>Surgery (16); Clinical Neurology (16); Ophthalmology (6); Pediatrics (4); Neurosciences (4); Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging (4); Multidisciplinary Sciences (4); Oncology (3); Genetics & Heredity (3);</p> <p>Critical Care Medicine (1); Engineering, Biomedical (1); Biochemical Research Methods (1); Medicine, Research & Experimental (1); Psychiatry (1); Allergy (1); Medical Laboratory Technology (1); Medicine, General & Internal (1); Biochemistry and Molecular Biology (1); Emergency Medicine (1); Virology (1); Computer Science, Theory & Methods (1).</p> <p>No Category (no IF) (19)</p>	91
<p>INV la plus récente: Lemaire JJ. Difficultés cliniques (solutionnées et non solutionnées) en neurochirurgie fonctionnelle. 3^{ème} workshop M-DBS, P Jannin, Rennes, Janv. 2015. (liste détaillée cf. infra)</p>	16
<p>OS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lemaire JJ. Related Circuitry and Synaptic Connectivity in Psychiatric Disorders. In Neurosurgical Treatments for Psychiatric Disorders. Eds. Bomin Sun, Antonio DeSalles. Shanghai Jiao Tong University Press, Shanghai and Springer Science and Business Media Dordrecht. 2015. Pages 1-20 - DeSalles AAF, Sedrak M, Lemaire JJ. The Future of Radiosurgery and Radiotherapy. Editor(s): DeSalles, AAF; Gorgulho, AA; Agazaryan, N; Slotman, B; Selch, M; Burwick, AJ; Schulz, RA. Source: Shaped Beam Radiosurgery: State Of The Art Pages: 305-309, 2014 - Gorgulho A, Pereira JLB, Lemaire JJ, De Salles A: Neuromodulation for Eating Disorders: Obesity and Anorexia. In Kim W, De Salles A, Pouratian N, Neurosurgery Clinics of America, Advances in Neuromodulation, Elsevier. 2014. Pages 147-157. - Hermoye L, Lemaire JJ, Laureys S. Neuroimaging of Patients with Disorders of Consciousness: from Bench to Bedside? Future Neurology. Vol. 8, No. 6, Pages 601-603, 2014 - Lemaire JJ, Behnke E, Frew A, DeSalles A: Navigation in Neurosurgery. In Culjat M, Singh R, Lee H. Medical Devices: Surgical and Image-Guided Technologies. Hoboken: Wiley. 2012 - Feschet F. Shape Analysis with Geometric Primitives. Digital Geometry Algorithms Theoretical Foundations and Applications to Computational Imaging, Editors: Brimkov, Valentin E., Barneva, Reneta P. 301/322. 2012 	6
C-ACTI + C-ACTN	76 (40+36)
COM + C-AFF	68 (24+44)

Rayonnement et Attractivité académiques

Travaux collaboratifs et investigateurs (relevé SIGREC de SIGAPS)

Six(*) des dix études en cours sont réalisées dans le domaine scientifique IGCNC. Nous n'avons pas de participation à des programmes européens ERC, ni des programmes nationaux ANR, MESR, et Avenir. Ce point doit être renforcé. Il est néanmoins délicat de se positionner à la fois comme acteur à fort potentiel de transfert et de champ de recherche ciblé (notre cas actuel) et répondre à certains AO : si la place de l'industrie n'est pas précise (e.g. problème de positionnement concurrentiel), ou si le champ thématique est trop large (e.g. problème de partage de données selon une méthode du plus petit dénominateur commun, donc pouvant être de portée limitée).

Le développement de la cartographie individualisée et l'intégration de la connectomique fonctionnelle, selon une approche interdisciplinaire encore peu répandue, dans le contexte de la création récente d'IGCNC, ne nous a pas permis de mettre en place beaucoup de travaux collaboratifs pré cliniques. Ceci est en train d'être corrigé en cartographie cérébrale et en connectomique fonctionnelle clinique.

	Type	Acronyme	C/P	Dates	Thématique
International	Fonds National Suisse et PHC Germaine de Staël (345K€)	Quantification d'effets intra opératoires*	Co-P	2012-2015	Set-up of combined accelerometry, electrophysiology and clinical assessments during deep brain stimulation surgery / A00774-37
Régional	Fondation Avenir + Industriel + CHU Clermont-Ferrand (127 K€)	Comportement DBS*	P	2010-2015	Etude des comportements conscients sous stimulation cérébrale profonde à basse fréquence lors de trouble de la conscience chronique et sévère post coma. / A00300-41 / NCT01718249 (clinicaltrials.gov)
	Fondation Paul Bennetot (62K€)	IRM cognition TC*	P	2014-2016	Etude longitudinale de la corrélation entre l'évolution des fonctions cognitives et de la structure de la substance blanche chez des patients ayant subi un traumatisme crânien modéré à grave, avec des lésions de disconnection / A00225-42
	AOI (CHU Clermont-Ferrand) + Fondation Gueules Cassées (19K€)	Langage-DTI-IRMf*	P	2012-2013	Imagerie cérébrale des voies du langage : étude IRM fonctionnelle et tenseur de diffusion couplée à la tractographie / A00768-37
	AOI (CHU Clermont-Ferrand) (7,5 K€)	WAIR – 3T*	P	2014-2015	Transposition d'une sequence irm utilisée pour le repérage des cibles de la stimulation cérébrale profonde d'une machine 1,5 tesla a une 3 tesla / A00976-41
	AOI Nice (n.a. €)	MET-ONS*	c	2013-2016	Etude du métabolisme cérébral chez les patients présentant une céphalée chronique primaire (migraine chronique ou algie vasculaire de la face chronique) réfractaire traités par stimulation des nerfs grand occipitaux / A01137-38
	Applicatif autres	National (PHRC)	STHYM	C	2014-2017
		ProMaRA	C	2013-2016	Utilisation de la protéomique quantitative ciblée et du marquage aux isotopes stables pour le diagnostic et l'étude des affections neurologiques et en particulier de la maladie d'Alzheimer / n.a.
		PREDI-STIM	C	2014-2020	Etude des facteurs prédictifs de la réponse thérapeutique sur la qualité de vie de la stimulation subthalamique dans la Maladie de Parkinson / n.a.
	Régional : AOI CHU Clermont-Ferrand	Marche / DBS	C	2011-2013	Evaluation de l'effet de la stimulation cérébrale profonde sur la marche en fonction de la localisation des contacts au sein de la région sous-thalamique au cours de la Maladie de Parkinson / A00892-39

Collaborations se traduisant par des publications communes 2010-2015 : 26

National et Locorégional

Université d'Auvergne, Service de Neurologie – CHU de Clermont-Ferrand & EA 7280, x8
 Université de Saint-Etienne – CHU Saint-Etienne – service de neurochirurgie, x4
 Université Nice Sophia Antipolis – CHU Nice – service de neurochirurgie, x3
 Université Claude Bernard Lyon 1 – CHU Hôpital Cardio-neurologique, service de soins de suites et réadaptation, x1

International

Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Life Sciences, Institut für Medizinal- und Analysetechnologie, Muttenz, (Suisse), x4
 Department of Neurosurgery & Human Brain Mapping Center, University of California, Los Angeles, (USA), x3
 Department of Biomedical Engineering, Linköping University, (Suède), x1
 F. M. Kirby Research Centre for Functional Brain Imaging, Kennedy Krieger Institute, Baltimore, Maryland(USA), x1
 Surgical Planning Laboratory, Harvard Medical School, Boston (USA), x1

Autres Eléments

✓ Citations, facteur h des leaders scientifiques du thème (source WOS)

JJ Lemaire (neurochirurgien ; MD, PhD ; responsable de service et chef de pôle), 1169 citations, h=20 ; Score SIGAPS 611 (70 publications prises en compte).

F Feschet (informatique; PhD ; VP-UDA jusqu'en 2012), 191 citations, h=8.

✓ Invitations et attractivité nationales et internationales

- Lemaire JJ. Difficultés cliniques (solutionnées et non solutionnées) en neurochirurgie fonctionnelle. 3ème workshop M-DBS, P Jannin, Rennes, 22 janvier 2015.
- Lemaire JJ. Consciousness, Hypothalamus and Connectivity. Minisymposium, Theme C: Disorders of the Nervous System, Human Subcortical Connectivity with High-Field MRI. S.J. Torrisi & M Ernst, National Institute of Mental Health, NIH. Society for Neuroscience. Neuroscience 2014. Washington, USA, Nov, 19, 2014.
- Lemaire JJ. Functional Connectomics and DBS. 1rst Workshop EU Project IMPACT & 7th Neurotech Workshop, May, 15-16 2014, Linköping, Sweden
- Lemaire JJ. 1. Neuroimaging : the neurosurgeons perspective; 2. Clinical Connectomics. 2nd Advanced Clinical Neuroimaging course (Imagylis). Bruxelles, Mai 2014
- Lemaire JJ. Brief overview, Functional Neurosurgery and Navigation. Workshop BrainLab & SaintJude Medical. Congrès annuel de la Société Française de Neurochirurgie. Clermont-Ferrand, Mai 2014
- Sontheimer A. Les patients cérébrolésés. 41e Journées d'étude de l'Association Française des Infirmières et Infirmiers de Neurologie et de Neurochirurgie. Clermont-Ferrand, Mai 2014
- Lemaire JJ. La conscience. 41e Journées d'étude de l'Association Française des Infirmières et Infirmiers de Neurologie et de Neurochirurgie. Clermont-Ferrand, Mai 2014
- Chazal J. Cerveau et vie sociale. 41e Journées d'étude de l'Association Française des Infirmières et Infirmiers de Neurologie et de Neurochirurgie. Clermont-Ferrand, Mai 2014
- Lemaire JJ. Neurobiologie des comportements conscients. Réunion du Rotary Club. Royat, Avril 2014
- Lemaire JJ. Le handicap fonctionnel dû à un dysfonctionnement du système nerveux central. 1ère Rencontre « Anticiper l'Avenir » Impacts de la recherche appliquée et de l'innovation sur les établissements hospitaliers mutualistes Ecole Européenne de Chirurgie. Paris, Février 2014
- Lemaire JJ, Sontheimer A, Nezzar H, Pontier B, Luauté J, Roche B, Gillart T, Gabrillargues J, Rosenberg S, Sarret C, Feschet F, Vassal F, Fontaine D, Coste J. Electrical modulation of neuronal networks in brain-injured patients with disorders of consciousness: a systematic review. ANARLF 2013. Le cérébro-lésé à la phase aigüe. Etat de conscience et neuro-éthique. Paris. 21-22 Novembre 2013
- Vassal F. Tractographie, quel intérêt au bloc opératoire? Réunion de la Société de Neurochirurgie de Langue Française. Paris, décembre 2012
- Lemaire JJ Evaluation des comportements moteurs conscients après coma lésionnel induits par stimulation cérébrale profonde Réunion de la société Française de Neurochirurgie, Toulouse, 9 mai 2012
- Lemaire JJ. Stimulation cérébrale profonde et troubles de la conscience : support anatomique structurel et fonctionnel. Journées EVC-EPR 2012. 9 février 2012. Hôpital Georges Pompidou. Paris

- Lemaire JJ. New Brain Imaging in Functional Stereotactic Neurosurgery. 1er Congreso Nacional de la Sociedad Espanola de Neurocirugia Funcional y Estereotactica. Novembre, 25, 2010. Valence. Espagne
 - Lemaire JJ. Clinical applications of computer-assisted neurosurgery: routine and prospects. 2nd ISCAS Surgical Workshop 2010: Neurosurgery / CARS 2010, June 23-26, Geneva, Switzerland
 - Invitation entrante : P. Janin (DR2, MediCIS - UMR LTSI U1099 INSERM Rennes - 2012 (3 jours))
- ✓ Participations à des jurys de thèse et HDR
- Lemaire JJ (Jury) L Sakka (SVE). Evaluation d'un peptide de synthèse dans la réparation des lésions traumatiques de la substance blanche. 2015. Université d'Auvergne.
 - Lemaire JJ (Jury) L Sakka Habilitation à diriger les recherches : 2013. Université d'Auvergne.
 - Lemaire JJ (Jury, Rapp) D Devaux (SHS). Le rôle de l'information visuelle dans la catégorisation émotionnelle au sein de deux psychopathologies. 2013. Université Blaise Pascal.
 - Lemaire JJ (Jury, Rapp). F Caire (SVE) Redéfinition des modalités de repérage du noyau sous-thalamique en stéréotaxie à partir de repères internes. 2012. Université de Bordeaux 2.
 - Feschet F (Jury, Président) A. Krahenbuhl Segmentation et analyse géométriques : application aux images tomodensitométriques de bois. 2014. Université de Lorraine (LORIA)
 - Feschet F (Jury) J. Mailfert Habilitation à diriger les recherches : Optimisation dans les réseaux de transports et de télécommunications. 2015. Université d'Auvergne.
- ✓ *Co-encadrements:*
A. Shah (Suisse), S. Hemm, J Coste et JJ Lemaire (financement Fonds National Suisse et PHC, G. de Staël)
- ✓ *Prix et Distinctions*
2014 : Emmanuel de Schlichting, Bourse de la Société Française de Neurochirurgie, pour son travail de master de sciences chirurgicales, option neurosciences (Etude de la connectivité fonctionnelle cérébrale chez des patients cérébrolésés - ancillaire de l'étude IRM cognition TC)
- ✓ *Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation*

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
Comité de rédaction (JJL): <i>Neurochirurgie</i> depuis 2012. <i>Surgical Neurology International</i> (section fonctionnel neurosurgery): depuis 2012	Organisation et comité de programme - First International Symposium on Deep Brain Connectomics, Clermont-Ferrand (2012) (organization IGCNC). Membre du comité de programme - congrès de la SFNC et SNCLF, Clermont-Ferrand (JJL, 2014)	Referee JJ Lemaire: Nature (Molecular Psychiatry), Human Brain Mapping, Neurosurgery, NeuroImage, Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, Medical Imaging Analysis, PLOS One, Clinical Neuroradiology F Feschet :Pattern Recognition

- ✓ *Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques*
- JJ Lemaire est membre du comité exécutif de la fondation Neurodis (Dir F Mauguères ; nomination décembre 2014 ; Inter-région Rhône-Alpes-Auvergne); Membre fondateur du club français de neurochirurgie stéréotaxique et fonctionnelle.
- ✓ *Expertises*
- JJ Lemaire est expert pour PHRC (DRCI du CHU de Clermont-Ferrand), AO Fondation Avenir, ANR, Afsapps, AO Européen hospitalier (Pays-Bas).

Implication dans la formation par la recherche

L'IGCNC est de plus en plus impliqué dans la formation par la recherche avec un nombre croissant d'étudiants SVE et ST.

Implication dans la formation par la recherche	Nombre
Stagiaires Master (M1 & M2) et doctorants A Sontheimer (PhD, 2015-2017, SVE) A Coste (M2, 2012-2013, SVE) G Coll (PhD, 2015-2017, SVE) A Armand (M1, 2015, SVE) Q Daniel (PhD, 2014-2017, ST) B Moussavi (M1, 2015, ST) H Nezzar (PhD, 2012-2016, SVE) V Rougier (M1, 2015, ST) F Vassal (PhD, 2011-2015, SVE) A Lafarge (M1, 2015, ST) B Roche (PhD, 2012-2015, ST, SVE) G Tommy (M1, 2015, SVE) E DeSchlichting (M2, 2014-2015, SVE) Y Elouadhi (M1, 2015, SVE) A Delille (M2, 2014-2015, ST) C Botella (M1, 2014, SVE) A Zerroug (M2, 2013-2014, SVE) C Dimitriu (M1, 2014, SVE) B Pontier (M2, 2013-2014, SVE) K Di Padova (M1, 2014, SVE) Q Daniel (M2, 2013-2014, ST) A Brousse (M1, 2014, SVE)	6 doctorants 6 M2 10 M1
Thèses et HDR soutenues Thèse d'Université – co-dir S Gobron: L Sakka (2014) HDR : L Sakka (2013) Thèse de Médecine (applications en lien avec le domaine de recherche) R Chaix 2014 (CF); F Tardif 2014 (CF), F Gampourou & T Stéfani 2013 (CF)	1 T(UDA), 1 HDR ; 4 T appli. médicales
Encadrement L'encadrement des stagiaires et doctorant est réalisé en interdisciplinaire, et essentiellement sous la supervision de F Feschet (ST) et JJ Lemaire (SVE). Thèse d'Université (3 ans) : ED 65, objectif de publication; ED 70, objectif de communication ; 3 demandes de prolongation (+1 an) pour les doctorants médecins praticiens (LS, FV, HN). Mise en place en 2015 des évaluations des doctorants en début et fin de thèse (directives ED 65 et ED 70).	
Cursus M2 Santé Technologie (M2, resp. L Sarry, UDA): responsable UE connaissances médicales par organe (JJL) M2 Master des sciences chirurgicales, option neurosciences (M2, resp. E. Emery, Caen): organisation (JJL) et enseignement de l'UE neurosciences clinique guidées par l'image M1 Génétique et physiologie, Parcours Génétique et Physiologie Recherche / Neurophysio-Pharmacologie : UE Développement du système nerveux et dégénérescence (enseignement : Anatomie clinique de la région des noyaux gris centraux)	

Valorisation / Interactions avec l'environnement socio-économique et culturel

Produits adossés à la recherche et destinés à des acteurs non académiques

- ✓ Deux travaux de synthèse destinés aux médecins s'intéressant à la modulation cérébrale ont été publiés : (1) un article concernant la modulation des réseaux neuronaux des patients traumatisés crâniens (Lemaire JJ et al, *Electrical Modulation Of Neuronal Networks In Brain-Injured Patients With Disorders Of Consciousness: A Systematic Review. Ann Fr Anesth Reanim. 2014*); et un chapitre d'un ouvrage collectif, concernant la connectivité cérébrale supportant les pathologies neuropsychiatriques (Lemaire JJ. *Related Circuitry and Synaptic Connectivity in Psychiatric Disorders. In Neurosurgical Treatments for Psychiatric Disorders. Eds. Bomin Sun, Antonio DeSalles. Shanghai Jiao Tong University Press, Shanghai and Springer Science and Business Media Dordrecht. 2015*).
- ✓ Articles concernant les troubles de la conscience destinés aux personnels soignants pour expliquer les nouveautés du domaine (JJ Lemaire, B Pontier, A Sontheimer, revue AFIINC 2014).
- ✓ Une mise au point sur la neuronavigation en neurochirurgie, destiné aux étudiants universitaires, et plus particulièrement ceux en ingénierie biomédicale, a été publié dans un ouvrage collectif (Lemaire JJ et al, *Navigation in Neurosurgery. In Culjat M, Singh R, Lee H. Medical Devices: Surgical and Image-Guided Technologies. Hoboken: Wiley. 2012*)
- ✓ Autres Actions
 - Articles : Biau J, Dalloz P, Durando X, Hager MO, Ouédraogo ZG, Khalil T, Lemaire JJ, Chautard E, Verrelle P. Elderly patients with glioblastoma: State of the art. Bull Cancer. 2015 / Biau J, Khalil T, Verrelle P, Lemaire JJ. Fractionated Radiotherapy and Radiosurgery of Intracranial Meningiomas. Sous presse, Neurochirurgie.
 - La compréhension des enjeux économiques et sociétaux dans le domaine du soin est un enjeu majeur pour développer la recherche appliquée. Dans ce sens nous avons étudié spécifiquement cette dimension dans le service de neurochirurgie du CHU de Clermont-Ferrand (Lemaire JJ et al. Analyse médico-économique d'un service de neurochirurgie en centre hospitalier et universitaire. Neurochirurgie 2015).

✓ Séminaires/Portes ouvertes/Réunions

- Lemaire JJ. Participation à l'animation du GT Tour Matmut par la Fondation de l'Avenir 6 et 7 septembre 2014, Magny-Cours
- Lemaire JJ: la conscience. 41^{ème} journées d'étude de l'Association française des Infirmières et infirmiers de Neurologie et neurochirurgie. Royat, 22 et 23 mai 2014.
- Lemaire JJ. Neurobiologie des comportements conscients. Rotary Club 16 avril 2014, Royat.
- Lemaire JJ. Le handicap fonctionnel dû à un dysfonctionnement du système nerveux central. 1^{ère} Rencontre « Anticiper l'Avenir » Impacts de la recherche appliquée et de l'innovation sur les établissements hospitaliers mutualistes Ecole Européenne de Chirurgie, Paris Jeudi 6 février 2014.
- Lemaire JJ. Le futur de la neurochirurgie. Séminaire Novalis. Mardi 19 novembre 2013. Centre Jean Perrin. Clermont-Ferrand. France.
- Lemaire JJ. Anatomie radiologique avancée du cerveau profond. Club coma. Centre de recherche en neuroscience, Bâtiment B13. Bron. 13 Novembre 2012.
- Lemaire JJ. L'Hypothalamus humain in vivo : structure et fonction. Séminaire sur les pathologies hypophysaires atypiques. Pr I Tauveron. Chamalières. Jeudi 24 mai 2012.
- Lemaire JJ. Neurochirurgie fonctionnelle intégrée: application aux troubles de la conscience. 7^{ème} congrès de la Fondation de l'Avenir : la chirurgie sans ouvrir, une réalité aujourd'hui ; Institut Montsoury, Paris, 5 décembre 2011
- Lemaire JJ. Structural and Functional Analysis of Brain for Neuro-Oncology. Sino-French workshop in Oncology, Sun Yat-Sen University Cancer Center, Guangzhou, China, Nov 25-27, 2011.

✓ Réseau de recours pour patients cérébrolésés graves

A partir des travaux applicatifs et méthodologiques en cours sur les troubles de la conscience et des comportements conscients chez les cérébrolésés, nous avons mis en place des réunions de concertation pluridisciplinaire (RCP ; depuis 2014 ; au CHU de Clermont-Ferrand) pour proposer des évaluations et des prises en charge spécifiques des patients et des familles (JJ Lemaire, B Pontier, C Sarret, A Sontheimer ; V Germain). Des RCP multidisciplinaires étendues (disciplines médicales de l'équipe + psychiatries, nutritionnistes, endocrinologues, chirurgien digestif) sont aussi organisées pour les cas les plus complexes. Une entité est en cours de consolidation au CHU dans le service de neurochirurgie (responsable, B Pontier). En parallèle, les structures de soin régionales se fédèrent autour de cette thématique, au plan médical (B Pontier, MPR, JJ Lemaire, neurochirurgie, Clermont-Ferrand ; T Sarraf, MPR, Aveize ; M Chougrani, Soins de Rééducation Post-Réanimation, SRPR, Saint-Etienne; J Luauté, MPR et SRPR, Lyon ; L Oujamaa, SRPR, Grenoble) et universitaire (J Luauté, Lyon I; JJ Lemaire, Clermont-Ferrand). L'objectif est de créer un réseau d'excellence (soin, recherche, enseignement) en France sur ce thème.

Relations partenariales / Impacts des recherches

Nous avons des relations partenariales avec la Fondation de l'Avenir (expertise de projets, participation à des manifestations nationales et régionales) que nous sollicitons sur AO. Cette relation avec la Fondation de l'Avenir nous a permis de développer nos travaux en interdisciplinaire, là où il était difficile de répondre sur des AO plus conventionnels disciplinaires.

Les contrats avec l'industrie sont aussi réalisés sur un mode partenarial sur du moyen terme (BrainLab, Allemagne ; Saint Jude Medical, USA ; Medtronic, USA ; FHC, USA). Nous avons ainsi participé (développements R&D, stratégie, et évaluations pré clinique) à la mise en place des premiers environnements logiciels neurochirurgicaux industriels intégrant la tractographie, la cartographie directe, le recalage non rigide et l'analyse 3D topographique (leader mondiaux ; contrats CHU-UDA-industriel en cours d'actualisation). Beaucoup d'hôpitaux (France et international) s'équipent avec cet environnement depuis la mise en place de ces outils.

Des sociétés savantes en France reconnaissent aujourd'hui l'intérêt clinique du guidage par l'imagerie en neurochirurgie, notamment en stéréotaxie (Société Française de Neurochirurgie et Société Française de Neurologie). Nous avons participé à la fondation et à l'animation entre 2004 et 2012 d'une société internationale de cartographie cérébrale ayant posé les bases d'une activité transdisciplinaire (JJ Lemaire; IBMISPS puis SBMT).

Autre

Membre du Comité de la Recherche en matière Biomédicale et de Santé Publique au CHU de Clermont-Ferrand (JJ Lemaire, représentant de l'Université d'Auvergne).

Analyse SWOT

Forces

- Equipe reconnue dans le domaine scientifique encore récent de la connectomique et la cartographie clinique.
- Interdisciplinarité.
- Unité de lieu au sein du CHU de Clermont-Ferrand.
- Capacité de validation-transfert rapide en clinique (collaborations industrielles ; unités de soins engagées dans la recherche).
- Acteur fédérateur régional, national, et international pour les cérébrolésés.

Faiblesses

- Effectifs trop limités pour le développement des projets, notamment la réponse aux appels d'offre et l'anticipation des montages;
- Donc faible interaction avec des réseaux scientifiques, notamment hors clinique.
- Très peu de développement technologique appareillages-instruments (collaborations industrie et académiques).

Opportunités

- Domaine scientifique très porteur au plan médical et économique.
- Intégration dans l'Institut Pascal (et fusion des universités de la région Auvergne) au sein d'un axe TGI interdisciplinaire cohérent ; donc très fort potentiel de fertilisation croisée dans l'axe et dans l'IP, notamment sur la dimension technologique.
- Ouverture vers une grande Région Rhône-Alpes-Auvergne, ce qui permettra de favoriser les développements dans ce cadre régional.

Risques

- Tissu économique local et régional en lien avec le domaine scientifique quasi absent.
- Domaine scientifique encore peu développé donc faible visibilité scientifique notamment par rapport aux travaux de connectomique non clinique.

2.2.4. Thème PEPRADE

Personnels

Candy AUCLAIR (Igr, 26, Uda, CHU); Benedicte BELGACEM (Igr, 46, Uda, CHU); Marie BLANQUET (PH, MD, PhD, 46, Uda, CHU); Anne DEBOST-LEGRAND (CCA, MD, 46, Uda, CHU); Laurent GERBAUD (PU1, HDR, MD, PhD, 46, Uda, CHU); André LABBE (PUEX, HDR, MD, 54, Uda, CHU); Hélène LAURICHESSE (PH, HDR, MD, PhD, 54, Uda, CHU); Bénédicte LECOMTE-GLOMOT (PH, MD, 46, Uda, CHU); **Didier LEMERY** (PUEX, HDR, MD, PhD, 54, Uda, CHU); Isabelle PERTHUS (PH, MD, 47, Uda, CHU); Charline MOURGUES (Igr, 05, Uda, CHU); Marc RUIVARD (PU1, HDR, MD, PhD, 53, Uda, CHU); Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT (PU, HDR, PharmD, 86, Uda); Philippe VANLEFERINGHEN (PH, MD, 54, Uda) Françoise VENDITTELLI (PH, HDR, MD, PhD, 54, Uda, CHU); Philippe VORILHON (PU Assoc Méd. Générale, MD, 53, Uda, CHU); Marie ZENUT (PH, MD, PhD, 48, Uda, CHU)

Associés

Stéphanie LEGER (MCU, 26, UBP, CHU); Gilles CLEMENT (PU, MD, PhD, 53, Uda); Chantal SAVANOVITCH (MCU, PharmD, 86, Uda), Brigitte VENNAT (PU, HDR, PharmD, 86, Uda). Marie-Paule POUGET (MCU 86, Uda), Sabrina BEDHOMME (MCU Ass 86, Uda), Laurent MARTY et Clémentine RAINEAU, socio-anthropologues, Emilie LABBE, Catherine SASS (Igrs, CETAF, St Etienne), Jean-Jacques MOULIN, Emmanuel AMSALLEM (PhD, CETAF, St Etienne). Hélène VAILLANT-ROUSSEL (CCA, Dpt Médecine Générale)

Doctorants

Thèse soutenue (1): Yacine THIAM

Thèses en cours (4): Chloé BARASINSKI (SF, CHU, MSc), Audrey LELONG (Igr, CHU, MSc), Cécile MARIE (Interne, CHU, MSc), Omar KANJ (MSc)

Post-Doc (PD) & Personnels Contractuels

NA

Collaborateurs administratifs

Valérie Lyonnet (UDA)

Identité scientifique

Le thème **PEPRADE** de l'Institut Pascal trouve son origine dans l'Equipe d'Accueil EA 4681 PEPRADE (Perinatalité, grossesse, Environnement, **PR**atiques médicales et **DE**veloppement) créée ex-nihilo (classée B) lors de la précédente campagne d'évaluation de la vague B (2012-2016). Elle a ainsi démarré ses activités le 01/01/2012.

Cette équipe est d'abord majoritairement pluridisciplinaire en Sciences de la Vie puisqu'elle rassemble des chercheurs HDR issus des CNU de santé de Gynécologie-Obstétrique (54-03), de Pédiatrie (Section 54-01), de médecine interne et de médecine générale (Section 53-01), de Santé Publique Médicale Epidémiologie et Economie de la Santé (Section 46-01) et de Santé Publique Pharmaceutique (section 86).

Cette équipe présente aussi une certaine interdisciplinarité du fait de la présence en son sein de 2 Ingénieurs chercheurs : une en Mathématiques appliquées (section 26) et une en Sciences Economiques (section 05).

Le champ scientifique identifié à la création de l'équipe peut se résumer en *évaluation, sous un angle médical ou médico-économique, voire sociologique, des facteurs environnant la grossesse l'accouchement et la période néonatale*. L'environnement s'entendant par les technologies médicales utilisées à des fins diagnostiques ou thérapeutiques (imagerie, échographie, endoscopie), les pratiques médicales, l'environnement naturel et/ou social. Il s'agit de l'évaluation d'une efficacité et/ou d'un risque ou de facteur(s) de risque(s).

La dynamique de la thématique s'appuie sur un accès et une exploitation de bases de données régionales (*Réseau de Santé Périnatale d'Auvergne RSPA, Centre d'Etude des Malformations Congénitales CEMC*), nationales (*Association des Utilisateurs de Dossiers Informatisés en Pédiatrie Obstétrique et Gynécologie AUDIPOG*) ou créées de novo, sur un savoir dans le design d'études et essais ciblé, sur une pratique clinique quotidienne et une expertise en santé publique (évaluation de la qualité des soins, épidémiologie, évaluation des pratiques professionnelles, évaluation et gestion des risques, analyses médico-économiques, statistiques), médecine périnatale et en échographie obstétricale reconnues au plan national au travers de la participation de la plupart des HDR à diverses commissions nationales d'experts.

Ce champ scientifique est décliné en deux sous-thèmes :

Pratiques professionnelles et interventions

Cliniques

- Evaluation des pratiques médicales
 - stratégies de dépistage et de prise en charge des hémorragies de la délivrance. *L'enjeu est la persistance, en France et de par le monde, d'une morbidité maternelle per-partum et post-partum élevée rapportée à une sous estimation de ces hémorragies.*
 - dépistage et prise en charge de la carence martiale chez la femme enceinte. *L'enjeu est, là encore, une sous estimation des réserves en fer des femmes en âge de procréer et l'absence de stratégie scientifiquement validée.*
 - impact de la poussée maternelle durant le travail d'accouchement sur son déroulement. *L'enjeu est de limiter les interventions médicales (épisiotomie, forceps, césarienne) durant le travail d'accouchement.*
 - Evaluation des pratiques médicales en obstétrique, périnatalité et petite enfance en Ukraine. *Il s'agit en, prenant comme modèle le secteur d'Ivankiv d'étudier les pratiques actuelles et de déterminer les stratégies d'amélioration à mettre en œuvre dans un contexte budgétaire et politique fortement contraint.*
- Evaluation des programmes d'éducation thérapeutique et d'observance. Les programmes d'ETP s'étant considérablement développés, il est nécessaire de construire des stratégies d'évaluation adaptées à la diversité des sujets.
- Evaluation de l'intérêt des techniques de grille dans l'exploitation des bases données. Ce sujet est particulièrement innovant : l'enjeu est d'évaluer la faisabilité de la mise en place d'un moyen simple associant plusieurs bases de données pour le suivi en temps réel d'indicateurs de santé et, ainsi, d'anticiper les risques.

Imagerie

- Détermination objective des éléments concourant à conférer à une image échographique une qualité permettant son exploitation en pratique médicale. Ce sujet, totalement innovant en terme d'imagerie échographique, n'a encore jamais été investigué sous cet angle. Par ailleurs, l'enjeu est de réaliser un score composite de qualité d'image qui puisse s'avérer utile au praticien pour optimiser objectivement un paramétrage de sa machine adapté aux caractéristiques du patient examiné. La construction de l'image chez le sujet obèse est notre première priorité.
- Evaluation de l'imagerie ultrasonore par Elastographie par onde de cisaillement en périfoetologie. Cet axe est novateur car la technique est d'apparition récente et n'a jamais été évaluée pour ce domaine médical. Deux étapes sont nécessaires : évaluation du risque généré par la technique et évaluation de son intérêt technique.
- Evaluation de la performance diagnostique de l'imagerie fœtale sur le plan de l'échographie prénatale et sur celui de la virtopsie (imagerie des fœtus morts-nés en lieu et place de l'autopsie dans le cadre du bilan étiologique)

Environnement, Milieu et mode de vie

Identification de la précarité

- Validation d'un score de précarité applicable à la femme enceinte.
- Evaluation de l'impact de la précarité sur le suivi et le devenir des grossesses en milieu rural.

Addictions et grossesse

- Evaluation de l'effet des conduites addictives sur le devenir périnatal (PHRC CAFE).
- Evaluation des politiques de sevrage tabagique pendant la grossesse.
- Mise au point d'applications internet/mobile pour l'aide au sevrage tabagique et consommation d'alcool (Financement MILDECA).

Contaminants environnementaux et risques fœtaux/jeunes enfants

- Pratique d'une activité aquatique régulière en piscine et risque de bronchiolite chez les bébés nageurs.
- Exposition in utero aux phtalates et impact sur les indicateurs de santé périnatale.
- Perception des risques liés aux plastifiants des dispositifs médicaux par les patientes et les professionnels de santé.
- Analyse des facteurs d'exposition environnementale dans le secteur d'Ivankiv en Ukraine Programme européen Ref EUROPAID/133104/C/SER/UA Health and ecological programmes

Organisation et vie de l'entité

L'Équipe est dirigée par D LEMERY. L'animation scientifique et méthodologique repose principalement sur F VENDITTELLI et L GERBAUD. Les relations avec l'UdA (notamment GRAAL) reposent sur C BARASINSKI et V LYONNET.

Elle est répartie sur trois sites :

- le CHU ESTAING (Pôle de Gynécologie-Obstétrique). Les locaux sont en proximité immédiate des locaux du Réseau de Santé Périnatale d'Auvergne ce qui favorise les collaborations ;
- les facultés de médecine et de pharmacie, les surfaces allouées y ayant été réduites au cours de l'année 2014 :
- le CHU Gabriel Montpied (pôle de santé publique) où se trouvent aussi les deux ingénieurs.

L'équipe se réunit une fois par mois en séance plénière et les groupes d'intérêt sous-thématique chaque fois que de besoin.

Lors des réunions plénières les points suivants sont balayés :

- recrutement des masters et doctorants en fonction de la période
- travaux en cours :
 - Conformité :
 - Aux règles éthiques
 - Aux règles d'anonymat
 - Préparation et présentation aux comités scientifiques locaux
 - Avancement, critiques et discussion
 - Financements et contrats
 - Stratégie de publication
- propositions et (ou non) validation de nouveaux travaux
- point financier (suivi de la consommation de la dotation annuelle de 16000 Euros par l'UdA).

L'équipe n'a pas fait évoluer sa page internet sur le site de l'UDA, ce point doit être mis à jour.

Contexte

L'EA 4681 est consacrée à l'évaluation médicale dans le contexte de la périnatalité (qui entend la période allant de la pré-grossesse à la période néo-natale, en passant par l'accouchement).

Notre recherche a un objet de santé publique car elle permet d'identifier des éléments impactant sur le déroulement de la grossesse et l'avenir de l'enfant et, à partir de cette expérience, de proposer des pratiques mieux adaptées et comporte des sous-objectifs translationnels notamment concernant le diagnostic pendant la grossesse.

L'évaluation médicale, qui est notre spécificité, est orientée dans deux directions que l'on retrouve dans chacun de nos sous-thèmes :

- évaluer une « intervention » sur le patient (que ladite intervention soit une pratique professionnelle, un type d'imagerie, une stratégie de prise en charge ou une action de prévention)
- évaluer un (des) risque(s) au(x)quel(s) est potentiellement exposé la mère ou l'enfant (toxicité d'un produit, effet physique des ultrasons de cisaillement, environnement, précarité)

L'interfaçage transdisciplinaire clinique, épidémiologique, mathématique, économique, statistique, sociologique permet de mieux cerner les indicateurs à évaluer et de construire le design des études à mener.

Sans reprendre ce qui a été dit plus haut, l'étude des pratiques professionnelles et interventions correspond à des enjeux majeurs de santé publique pour la mère et l'enfant. Cet axe est animé par F VENDITTELLI. A seul titre d'exemple, il peut paraître aberrant en 2015 que l'hémorragie reste une cause majeure de morbidité des mères. Parmi les études réalisées, nous évaluons, à l'aide de photographies de dispositifs de recueil, la pertinence de l'appréciation par les professionnels de santé du volume de sang perdu. Le but est de proposer, via un support visuel, une échelle qui soit un référentiel utilisable en pratique quotidienne pour

apprécier avec pertinence, le volume d'une hémorragie et prendre les mesures adéquates au plus vite (M2, I PARAYRE).

Un autre aspect (repris infra dans la partie environnement industriel) concerne l'appui aux services d'obstétrique, de périnatalité et de pédiatrie du secteur d'Ivankiv, dans la région de Kiev. En sus de la question de l'exposition aux polluants, l'objectif est de déterminer les stratégies les plus coût-efficaces pour assurer l'évolution et la modernisation des prises en charge de grossesse et de la petite enfance. Ce projet associe l'administration de la santé de la région de Kiev (dont dépend Ivankiv), l'Institut Universitaire de Médecine Shupik de Kiev, le centre hospitalier régional pédiatrique de Boïarka, le centre hospitalier d'Ivankiv. Il est coordonné localement par le Science and Technology Center in Ukrain (STCU) et repose sur des financements de l'Union Européenne project STCU #9805 et pour le financement UE: Ref EUROPAID/133104/C/SER/UA Health and ecological programmes around the Chernobyl Exclusion Zone: development, training and coordination of health related projects, Ukraine U6.01b:11 et du Conseil Régional de Rhône-Alpes Ref 1400036003 SAN233 Contribution scientifique à la gestion des territoires radiocontaminés.

En 2013 et 2014, plusieurs visites d'audit ont eu lieu, aboutissant à la fourniture de matériel à l'hôpital d'Ivankiv (matériel d'obstétrique – échographes,...- et de périnatalité- couveuses, postes de réanmiaton,...), de didacticiels de formation et la mise en place de systèmes d'information standardisés – construits à partir du dossier d'obstétrique et de pédiatrie ukrainien et des recommandations de l'AUDIPOG. Le matériel est opérationnel depuis mai 2014. Au sein de PEPRADE, ce programme est coordonné par les Pr LABBE, GERBAUD et le Dr VENDITTELLI.

L'hémorragie tardive du post-partum, peu étudiée, est également un des thèmes de l'équipe (M2, M DOSSOU).

L'axe « pratiques maïeutiques durant le travail d'accouchement » se veut être une approche rationnel de pratiques réalisées dans de nombreuses maternités mais de façon totalement empirique (Doctorante : C BARASINSKI).

A coté de ces analyses fines des pratiques, ni les décideurs sanitaires, ni les professionnels ne disposent d'outil de veille permettant un relevé, en temps réel et anonyme d'indicateurs statistiques de santé. Le Pr GERBAUD, Stéphanie LEGER, Audrey LELONG (doctorante) travaillent à l'évaluation de la *pertinence de l'usage des techniques de grille dans l'exploitation des bases données*. Ce travail se fait en collaboration dans le cadre du projet GINSENG financé par l'ANR et en partenariat avec l'Université Blaise Pascal (LPC et notamment le Pr Lydia MAIGNE). Des serveurs miroirs de recueil et d'anonymisation sont interfacés avec les bases de données périnatales de certains établissements hospitaliers de la Région.

L'axe imagerie, animé par D LEMERY, concerne principalement les **ultrasons** qui constituent la modalité de choix chez la femme enceinte. Un contrat de partenariat tripartite (Industriel,UdA,CHU) a été signé avec le société (française) SUPERSONIC IMAGINE car nous avons souhaité nous doter de leur machine « l'AIXPLOREUR » sur laquelle des évolutions novatrices sont envisageables sous réserve d'être évaluées en pré-clinique.

Ainsi, par convention, la totalité des échographes du marché mondial sont paramétrés, pour construire l'image, en considérant que la **célérité des ultrasons** (constante pour un milieu physique donné) dans les milieux biologiques est proche de l'eau soit 1540 m/s. Avec l'épidémie montante nationale et mondiale d'obésités morbides, on s'aperçoit que la qualité de l'image est très dégradée dans ces cas en particulier aux dépens de la résolution latérale. Cette altération a longtemps été rattachée à l'épaisseur tissulaire à traverser or il est connu que la vitesse de propagation des ultrasons dans la graisse est de l'ordre de 1450 m/s. La construction de l'image dans ces conditions est totalement défocalisée ce qui explique la perte de résolution. L'AIXPLOREUR est le seul échographe qui permette de moduler ce paramètre vitesse. Nous avons donc lancé une étude nationale auprès d'experts en échographie, leur soumettant, en aveugle quant à la vitesse des ultrasons, 100 triplets de 3 clichés acquis à 3 vitesses différentes, à coter selon leur qualité afin de valider cette hypothèse (8 500 triplet vus à la date de rédaction de ce document, soit plus de 25 000 lectures de clichés).

S'il s'avère qu'une vitesse plus lente améliore l'image chez l'obèse, ce que les 1ers retours nous laissent augurer, il s'agira d'un réel FAIT MARQUANT qui devra faire repenser toutes les normes industrielles de construction de l'image.

Ce travail, dirigé par D LEMERY, est mené par B CHAUVEAU interne en radiologie et étudiant en M2 (Technologies médicales).

A partir de ces données, nous souhaitons ensuite travailler à l'élaboration d'un score s'appuyant sur la détermination objective des éléments concourant à conférer à une image échographique une qualité permettant son exploitation en pratique médicale. Ce score peut être un outil pour le praticien pour optimiser objectivement un paramétrage de sa machine adapté aux caractéristiques du patient examiné. Ce travail sera proposé à deux futurs doctorants (un pour l'aspect clinique, un pour la méthodologie).

Par ailleurs, le fœtus et une partie de l'utérus ne sont pas accessibles aux techniques d'élastographie classiques par contrainte qui nécessitent un contact direct sonde/tissu étudié. Nous avons, avec l'AIXPLORER, une machine qui dispose d'une technique nouvelle d'application de cette contrainte au tissu examiné, sans contact direct avec celui-ci. Il s'agit de l'onde de cisaillement où un front d'onde concentré mais peu énergétique crée un ébranlement du tissu exploré. Cette technique est, en théorie, la seule applicable au fœtus. Nous sommes actuellement dans la phase d'évaluation du risque « a priori » de cette technique chez le fœtus. Etape indispensable avant son utilisation sur un organisme en développement. Ce travail est mené, sous la direction de D LEMERY, par Maha ISSAOUI, manipulatrice en radiologie et étudiante en M2 (Sciences du risque en Santé, coordonné par le Pr SAUVANT ROCHAT). Le travail sur les applications cliniques sera confié à Maha ISSAOUI pour son doctorat.

Enfin nous sommes en train de mettre en place avec l'équipe de radiologie (Pr BOYER, Pr GARCIER) une évaluation d'une stratégie globale de prise en charge du fœtus mort-né (dans un contexte d'interruption médicale de la grossesse pour malformation ou de mort in utero spontanée) en comparant la qualité du conseil génétique obtenu chez les fœtus ayant été autopsiés (« gold standard » actuel) versus ceux ayant eu une IRM. Le généticien disposant par ailleurs des éléments habituels qui lui sont fournis, à savoir : données prénatales (écho, clinique, biologie), radio du squelette, clichés externes du corps. Cette étude vise donc à comparer une stratégie invasive vs non invasive dans un contexte où le nombre d'anatomo-pathologistes formés à l'autopsie fœtale diminue et où le refus d'autopsie par les familles augmente.

L'axe Environnement, Milieu et mode de vie est animé par L GERBAUD et MP SAUVANT-ROCHAT.

- Identification de la précarité
 - Validation d'un score de précarité applicable à la femme enceinte
 - Evaluation de l'impact de la précarité sur le suivi et le devenir des grossesses en milieu rural (M2, interne de médecine générale)

- Addictions et grossesse

Evaluation de l'effet des conduites addictives sur le devenir périnatal (PHRC CAFE).

Evaluation des politiques de sevrage tabagique pendant la grossesse.

Mise au point d'application internet/mobile pour l'aide au sevrage tabagique et la réduction de consommation d'alcool : les applications mobiles jouent un rôle important pour les populations les plus jeunes, celles en âge de procréer ou celles immédiatement plus jeunes. Or, s'il existe de nombreuses applications concernant l'activité physique, la surveillance du poids ou de maladies chroniques telles que l'HTA ou le diabète, les applications concernant les conduites addictives sont rares. A partir d'un financement MILDECA, deux applications, basées sur le feedback normatif et l'approche motivationnelle, sont en cours de développement sous la responsabilité du Pr L GERBAUD : l'une concernant le sevrage tabagique (et ciblant les femmes jeunes), l'autre concernant la réduction de consommation festive d'alcool.

- Environnement industriel

Suivi de l'évolution des conséquences pour la santé de la mère et de l'enfant de l'exposition chronique à différents polluants (pesticides, radio-éléments dont le césium 137, autres polluants industriels,...) dans la région d'Ivankiv. Ce projet, coordonné localement par le Science and Technology Center in Ukrain (STCU), associe l'administration de la santé de la région de Kiev (dont dépend Ivankiv), l'Institut Universitaire de Médecine Shupik de Kiev, l'Institut Universitaire de Génétique des Végétaux de Kiev, le centre hospitalier régional pédiatrique de Boïarka, le centre hospitalier d'Ivankiv et bénéficie de financements de l'Union Européenne et du Conseil Régional de Rhône-Alpes. Il est le complément du programme sur l'évolution des pratiques en périnatalité et petite enfance en Ukraine précédemment vu. Il est coordonné par les pr A LABBE, L GERBAUD et le Dr F VENDITTELLI. Il consiste en trois cohortes annuelles successives de 300 couples mère-enfant (jusqu'à l'âge d'un an pour les enfants) recrutés dans la population générale des districts d'Ivankiv et de Polésie, suivis au centre hospitalier d'Ivankiv, complétées par une étude transversale de mesure d'état de santé et relevé de polluants (via les excréta) auprès de 3.000 enfants du secteur d'Ivankiv. Les premières inclusions dans la première cohorte mère-enfants et dans la cohorte enfants ont eu lieu en novembre 2014.

- Contaminants environnementaux et évaluation du risque sanitaire pour le fœtus et le jeune enfant

- Exposition in utero aux phtalates et impact sur les indicateurs de santé périnatale (MP SAUVANT-ROCHAT – F. VENDITTELLI - C. MARIE, Doctorante)

Principalement utilisés comme plastifiants du PVC, les phtalates sont reconnus comme reprotoxiques et perturbateurs endocriniens et sont actuellement impliqués dans le développement de diverses pathologies (maladies respiratoires et allergiques, diabète, obésité, maladies thyroïdiennes, trouble de la fertilité, etc). Par ailleurs, les femmes enceintes sont considérées comme un groupe à risque majeur vis-à-vis des phtalates. La grossesse est une période de vulnérabilité pour le développement de l'embryon et du fœtus. Les comportements des femmes pendant la grossesse (alimentation, utilisation des produits d'hygiène corporelle, etc) modifient leur exposition aux phtalates. Récemment, des études portant sur les impacts sur les indicateurs de santé périnatale, après une exposition in utero aux phtalates, ont été publiées, mais leurs résultats sont discordants.

Récemment, M.P. SAUVANT-ROCHAT et F. VENDITTELLI ont initiés des investigations épidémiologiques afin de préciser l'exposition potentielle aux phtalates et à leurs produits de substitution des femmes enceintes via les dispositifs médicaux (C. MARIE – Doctorat d'Université) et via les produits d'hygiène corporelle (S. CABUT – Thèse de Pharmacie). A terme, une étude de cohorte permettra de préciser le rôle des phtalates et de leurs produits de substitution sur les différents indicateurs de santé périnatale (poids et taille à la naissance, âge gestationnel et malformations congénitales, pour lesquelles la fenêtre d'exposition est très étroite), et de définir la période la plus propice pour la détermination de biomarqueur représentatif de l'exposition in utero aux phtalates. En effet, l'intérêt de définir un biomarqueur pertinent est multiple pour suivre le niveau d'imprégnation en population générale, pour identifier un seuil critique à ne pas dépasser afin d'éviter la survenue d'évènements défavorables lors de la grossesse et pour ajuster ce seuil pour les populations à risque, en particulier les femmes enceintes.

- Perception des risques liés aux plastifiants des dispositifs médicaux par les patientes et les professionnels de santé (MP SAUVANT-ROCHAT – F. VENDITTELLI - C. MARIE, Doctorante)

Définir des valeurs critiques pour les phtalates est nécessaires, mais cette étape doit s'accompagner d'une utilisation à bon escient des produits (médicaux, alimentaires, cosmétiques et autres) renfermant des phtalates. Actuellement, les femmes enceintes, aussi bien que les professionnels de santé, méconnaissent le risque sanitaire lié aux phtalates. Dans ce contexte, M.P. SAUVANT-ROCHAT, F. VENDITTELLI et C. MARIE (Doctorat d'Université) ont mis en place des enquêtes d'opinions visant à préciser les connaissances et la perception du risque lié aux phtalates, d'une part dans une population de femmes enceintes, et d'autre part parmi les professionnels de santé adhérant au Réseau de Santé Périnatale d'Auvergne (RSPA). A terme, les résultats obtenus serviront de base pour l'élaboration de messages de prévention adaptés aux femmes enceintes.

- Exposition in utero à l'arsenic hydrique et diabète gestationnel en Auvergne (MP SAUVANT-ROCHAT – F. VENDITTELLI – S. LEGER)

Des études réalisés aux Etats-Unis, en Amérique du Sud et en Europe de l'Est ont montrées une association entre une exposition chronique à faibles doses à de l'arsenic hydrique et l'augmentation du risque de diabète de type 2. Or, en Auvergne, les ressources souterraines en eau utilisées pour la production d'eau du robinet peuvent être naturellement contaminées par de l'arsenic (origine géologique). Après croisement de bases de données cliniques (AUDIPOG), administratives (base patients du CHU de Clermont-Ferrand) et du contrôle sanitaire des eaux (SISE-Eaux), une étude est en cours afin de vérifier les variations spatio-temporelles des cas de diabète gestationnel identifiés en Auvergne en 2003, 2006 et 2010, en fonction des lieux de résidence pris comme indicateurs potentiels d'une exposition à l'arsenic hydrique.

- Pratique d'une activité aquatique régulière en piscine et risque de bronchiolite chez les bébés nageurs (MP SAUVANT-ROCHAT – A. LABBE - V. SABLAYROLLES, thèse de Médecine)

Depuis les années 1990, l'activité bébé-nageur s'est popularisée dans les pays développés. Actuellement, en France, elle est pratiquée par environ 8% des enfants âgés entre 6 mois et 3 ans. Des études récentes suggèrent que la fréquentation de piscines chlorées durant

la petite enfance augmenterait le risque d'infections respiratoires basses (telle la bronchiolite). Cette hypothèse a été investiguée lors d'une étude transversale initiée au CHU de Clermont-Ferrand, sur des enfants vus en consultation et/ou hospitalisés, pour bronchiolite ou asthme du nourrisson. Cette étude a permis de constater que 40% de la population étudiée pratiquaient une activité aquatique régulière (activité récréative dans des piscines publiques (intérieures) ou privées (extérieures) ou véritable activité bébé-nageur). La durée d'exposition cumulée aux eaux de piscine avant le premier épisode de bronchiolite est de 10.3 heures. Cependant, dans la population vue aux Urgences Pédiatriques du CHU de Clermont-Ferrand, la pratique d'une activité aquatique régulière n'influe pas sur la fréquence et la gravité des épisodes de bronchiolites ou d'asthmes du nourrisson. Aucune sur-représentativité des enfants pratiquant l'activité bébé-nageur n'est constatée (12 bébés nageurs, soit 8,6%). Dans ce contexte, une étude prospective de cohorte (enfants pratiquant une activité aquatique régulière *versus* enfants n'ayant pas cette activité), avec un suivi clinique jusqu'à l'adolescence, serait nécessaire pour préciser les bénéfices et les risques réels liés à l'activité bébé-nageur pratiquée dans les piscines françaises. Les collaborations scientifiques établies entre Pr A. LABBE (Pédiatrie) et Pr MP SAUVANT-ROCHAT (Santé Publique et Environnement) s'orientent dans ce sens.

Réalisations

1. Administration et gestion de bases de données en Périnatalité

Cette réalisation a été l'élément fondateur à l'origine de la fondation de l'équipe car il constitue un savoir-faire et une source d'information. Le Dr F VENDITTELLI est directrice scientifique de l'AUDIPOG qui, via un réseau sentinelle de maternités volontaires, collige anonymement des données relatives à la grossesse et à l'accouchement sur tout le territoire national. Cette base est constituée selon des spécifications qui font référence, y compris pour le Dossier Médical Partagé national. Son exploitation permet de décrire et d'évaluer les pratiques professionnelles (How singleton breech babies at term are born in France: a survey of data from the AUDIPOG network. Lansac J, Crenn-Hebert C, Rivière O, Vendittelli F. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2015 May;188:79-82.)

Nous avons développé, au niveau régional (Réseau de Santé Périnatale) un dossier universel de suivi (Grossesse, accouchement, nouveau-né) qui est utilisé comme outil commun de travail et de communication pour tous les professionnels de santé d'Auvergne. La base de données, en arrière-plan de ce dossier, structurée selon les mêmes spécifications, permet après anonymisation une exploitation plus fine (Appropriateness of elective caesarean deliveries in a perinatal network: a cross-sectional study. Vendittelli F, Tassié MC, Gerbaud L, Lémery D. BMC Pregnancy Childbirth. 2014 Apr 9;14:135.)

Enfin, la base de données du registre des malformations permet d'exploiter plus de 30 ans de recueil exhaustif (*Prenatal diagnosis of the VACTERL association using routine ultrasound examination*. Debost-Légrand A, Goumy C, Laurichesse-Delmas H, Déchelotte P, Perthus I, Francannet C, Lémery D, Gallot D. Birth Defects Res A Clin Mol Teratol. 2015 Jun 2).

2. Hémorragies de la délivrance

Ce thème d'importance, qui représente la plus grosse part des décès et /ou complications maternelles graves du péri-partum fait l'objet, à partir de nos bases données ou à partir de bases constituées plus spécifiquement, d'analyses de pratiques, dont certaines avec objectif d'application à la formation permanente et initiale (Reliability of student midwives' visual estimate of blood loss in the immediate postpartum period: a cross-sectional study. Parayre, O Rivière, A Debost-Légrand, D Lémery, F Vendittelli). Les travaux les plus récents concernent les hémorragies secondaires du post-partum, très peu étudiées et pour lesquelles il n'existe pas de guidelines. Les risques identifiés sont les hémorragies immédiates et l'âge maternel (Risk Factors for Severe Secondary Postpartum Hemorrhages: A Historical Cohort Study. Debost-Légrand A, Rivière O, Dossou M, Vendittelli F. Birth. 2015 May 29. Severe secondary postpartum hemorrhage: a historical cohort. Dossou M, Debost-Légrand A, Déchelotte P, Lémery D, Vendittelli F. Birth. 2015 Jun;42(2):149-55).

3. Environnement de la grossesse et évaluation des risques de la santé

Notre équipe a été sollicitée dans le cadre d'un partenariat avec la région d'Ivankiv en Ukraine (L GERBAUD, A LABBE, F VENDITTELLI). L'objet de ce projet est d'abord l'étude d'impact sur la santé maternelle et infantile de l'exposition au Césium 137 issu de la catastrophe de Tchernobyl et aux usages locaux de pesticides. Il doit se poursuivre par la proposition de mesures de prévention et d'éducation (Efficacy of pectin in reducing cesium-137 load in chronically infected children: a literature review. C Marie, L Gerbaud, Y Bandajevsky, D Vernay. Pediatrics Eastern Europe; 4, 08: 104-117 (2014)).

L'impact de l'environnement quotidien de la mère et de l'enfant (MP SAUVANT-ROCHAT) fait l'objet de travaux d'évaluation concernant l'impact d'une exposition (Early swimming activities and risk of bronchiolitis and/or asthma in French child. V. Sablayrolles et al. Proceeding of the 12th Congress of the International Federation of Environmental Health (IFEH), 22-27 mai 2012, Vilnius (Lituanie), Medimond Editor, 2012, 5p.) ou d'étude (préliminaire à une étude en cohorte) d'évaluation du risque (Obstetrical outcomes and biomarkers to assess exposure to phthalates: a review C. Marie et al. Environnement International 83, 116-136 (2015)).

4. Contractualisation SUPERSONIC IMAGINE®

Il s'agit, pour l'équipe, d'une étape clef. La signature de ce contrat tripartite (Industriel/CHU de Clermont/Université d'Auvergne pour PEPRADE) avec ce constructeur de dispositifs d'imagerie médicale (Echographes) a pu se réaliser grâce à l'intérêt médical et industriel que représente la mise en place dans notre équipe (D LEMERY) d'un projet relatif à la qualité de l'image (vitesse des ultrasons, score de qualité) et d'un projet relatif à l'application clinique de l'élastographie par onde de cisaillement en obstétrique. Deux études, soumises à publication en septembre (sujets de M2), ont été réalisées courant 2015 :

- étude préliminaire d'évaluation des risques liés à l'utilisation de l'onde de cisaillement chez le fœtus (M2 d'évaluation du risque en santé de Maha ISSAOUI) ;

- étude appréciant l'effet du paramètre « vitesse de propagation des ultrasons » sur la qualité de l'image en échographie obstétricale chez la femme obèse (M2 Technologies-santé de Benoit CHAUVEAU). Quatre types de plans de coupe fœtale ont été acquis à 3 vitesses d'ultrasons différentes et présentés, sous forme de 80 triplets d'image à 114 membres du Collège Français d'Echographie Fœtale qui les ont classées (soit 27360 lectures d'image). Il en ressort que la vitesse conventionnelle des ultrasons (1540 m/s) utilisée consensuellement depuis 1977 par tous les constructeurs de dispositifs d'imagerie échographique n'est pas adaptée au patient obèse et que les vitesses plus lentes (1480 m/s) fournissent une image de meilleure qualité. Ce constat devrait faire revoir le consensus industriel. L'article issu de ce travail va être soumis dans une revue de forte audience car il s'agit d'une réelle avancée dans le domaine de l'imagerie ultrasonore, qui concerne toute la population des patients obèses.

Fiches scientifiques (Scientific Achievements) - à consulter dans le Livret des Fiches Scientifiques

#98	Databases monitoring and evaluation
#99	Immediate post partum Blood loss evaluation
#100	Severe Secondary Postpartum Hemorrhage: incidence, causes and risk factors
#101	Partnership in mother and child health in Ukraine
#102	Health risk assessment for babies linked to disinfection by-products detected in the chlorinated water of swimming pool
#103	Risk assessment after in utero phthalated exposure and obstretical outcomes
#104	Contractualizations with Supersonic Imagine Corp.

Production scientifique

181 Publications dont 154 dans des revues avec comité de lecture (ACL) sont relevées. Sachant que notre équipe n'a été créée de novo qu'en 2012. On note par ailleurs 7 participations à des ouvrages scientifiques (OS).

Parmi les 181 publications 2010-2015, 95 sont du domaine scientifique direct de l'équipe. Le fait près de 50% de nos publications soit hors champ témoigne de notre pluridisciplinarité et de nos collaborations. L'interdisciplinarité se mettant en place, seulement 4 articles sont co-signés d'auteurs de disciplines autres que la santé. 84 Articles sont publiés dans des revues en anglais dont 33 dans le Champ d'intérêt de l'équipe (34,7% du champ d'intérêt), l'évaluation des pratiques professionnelles étant souvent le fait des habitudes de chaque pays, l'écriture en français est nécessaire. Toutefois le taux d'articles anglophones a augmenté durant les 2 dernières années. Par ailleurs les articles ayant trait à l'environnement et à l'éducation ne rentrent pas dans le système habituel d'indexation.

Publications, communications orales, ouvrages et logiciels sur la période 2010 - Mai 2015	Nombre	
ACL-ASCL-ACLN champs scientifique		
<p>Lancet (Q1; 39,2) JAMA Pediatr (Q1; 7,14) Environ Int (Q1 ; 5,55) x 2 Pediatrics (Q1 ; 5,47) Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol (Q1 ; 4,04) PLoS One (Q1; 3,53) BMJ Qual Saf (Q1; 3,28) Prenat Diagn (Q1; 3,26) Ultrasound Obstet Gynecol (Q1; 3,14) x 2 Pediatr Perinat Epidemiol (Q1; 3,13) Placenta (Q1; 2,71) Prenat Diagn (Q1; 2,15) Int J Health Geogr (Q1; 1,97) BMC Pregnancy Childbirth (Q2; 2,15) x 3 Clin J Pain (Q2; 2,7) Eur J Public Health (Q2; 2,45) x 2 Diabetes Metab (Q2; 2,38) J Hum Lact (Q2; 1,97) x 2 Acta Obstet Gynecol Scand (Q2 ; 1,77) x 2</p>	<p>Birth Defects Res A Clin Mol Teratol (Q3 ; 2,21) x 2 Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol (Q3; 1,84) x 4 J Pediatr Surg (Q3 ; 1,38) Birth (Q4; 2,04) x 2 Ann Fr Anesth Reanim (Q4; 0,836) x 2 Rev Epid et santé pub (Q4 ; 0,65) x 6 Gynecol Obstet Fertil. (Q4 ; 0,58) x 13 Rev Mal Respir (Q4 ; 0,49) x 2 J Gynecol Obstet Biol Reprod (Q4 ; 0,44) x 14 Arch Pediatr (Q4 ; 0,3) x 2 Qual Saf Health Care (2,16) Environ Risque Santé (0,18) Case Reports in Women Health (not Indexed) Morphologie (not indexed) Rev Med Périnat (ASCL) x 12 Vocation Sage Femme (ASCL) x 2 La Revue Sage Femme (ACLN) Bulletin Veille Sanitaire (ACLN) Air Pur (ACLN)</p>	95
ACL-ASCL-ACLN - hors champ sc.		
<p>Ann Intern Med (Q1; 16,73) J Hepatol (Q1; 10,40) Ann Rheum Dis (Q1 ; 9,08) Autoimmun rev (Q1 ; 7,93) Arthritis Rheum.I (Q1; 7,76) Clin Chem (Q1; 7,14) J Autoimmum (Q1; 7,01) Cochrane DB Syst Rev (Q1; 5,71) Clin Microbiol Infect (Q1; 5,19) Br J Haematol (Q1; 4,94) x 2 Crit Care (Q1; 4,59) Clin Nutr (Q1; 4,47) Medicine (Baltimore) (Q1; 4,23) J Int AIDS Soc (Q1 ; 4,2) J Clin Microbiol (Q1 ; 3,99) PLoS One (Q1; 3,53) x 2 J Neurosurg (Q1 ; 3,14) Clin Chim Acta (Q1; 2,82) BMC Family Practice (Q1; 1,74) Clin Genet (Q2; 3,65) J Clin Virol (Q2 ; 3,28) Cerebellum (Q3; 2,86) Infection (Q2; 2,86) Qual Life Res (Q2; 2,86) Contraception (Q2; 2,72) Drug Saf (Q2; 2,62) J Neurol Sci (Q2; 2,26) x2 Clin Biochem (Q2; 2,07) Fam Pract (Q2; 1,84) Br J Gen Pract (Q2; 1,83) European J. of Oncology Nursing (Q2; 1,79) x 2 Intern med J (Q2; 1,54) x 2 European J. of general practice (Q2; 1,22)</p>	<p>BMC Psychiatry (Q3; 2,21) J Med Virol (Q3; 2,21) Dis Markers (Q3; 2,17) Trials (Q3; 2,12) J Nerv Ment Dis(Q3; 1,81) Geriatr Gerontol Int (Q3; 1,57) J Asthma (Q3; 1,52) Presse Med (Q3; 1,17) Rev Med Interne(Q3; 0,89) x 5 Glob Health Promot (Q3; 0,73) Pediatric Pulm (Q4; 2,70) Med Mal Infect (Q4; 1,24) J Med Imaging Radiat Oncol (Q4; 0,95) Rev Epidemiol Sante Publique (0,65) Rev Mal Resp (Q4 ; 0,49) x 6 J Fr Ophtalmol (Q4; 0,36) Ann Biol Clin (Paris) (Q4; 0,34) Arch Pediatr (Q4; 0,30) x 11 BMC Res Notes (na) NPG (na) Ann Phys Rehabil Med (na) Santé Publique (na) Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement (na) Risques & qualité en milieu de soins (ACLN) Revue du Praticien (ACLN) Exercer (ACLN) x3 Le concours médical (ACLN) J Prev Med Hyg (ACLN) La Revue Prescrire (ACLN) Educ Sci (ACLN)x 2</p>	90
INV		38
OS		8
C-ACTI + C-ACTN		77 (19+58)
COM + C-AFF		37

Rayonnement et Attractivité académiques

Travaux collaboratifs et investigateurs (relevé SIGREC de SIGAPS)

Partenariat avec l'Ukraine sur un financement UE : Ref EUROPAID/133104/C/SER/UA Health and ecological programmes around the Chernobyl Exclusion Zone: development, training and coordination of health related projects, Ukraine U6.01b:11 et un financement du Conseil Régional de Rhône-Alpes Ref 1400036003 SAN233 Contribution scientifique à la gestion des territoires radiocontaminés.

Collaboration GINSENG ANR-10-TECSAN-008-01/GINSENG project .

Ci-dessous Projets dont la réalisation ou la mise en place couvrent la période d'évaluation :

C = Co-investigateurs ; P = investigateur principal

	Type	Acronyme	C/P	Date début	Thématique
National	PHRC	HERA	P	2011	Evaluation de l'impact des stratégies de prévention et de diagnostic précoce des hémorragies du post-partum au sein des réseaux de santé en périnatalité.
	PHRC	PERASTUN	C	2012	Prévention de la pré-éclampsie et du retard de croissance intra utérin par l'aspirine à faible dose chez les primipares ayant des notch utérins bilatéraux au premier trimestre. Etude randomisée pragmatique.
	PHRC	JUMODA	C	2012	Etude prospective comparative nationale sur le MODE d'accouchement des femmes enceintes de JUMOD, conséquences sur la santé néonatale et maternelle du mode programmé d'accouchement - JUMODA.
	PHRC	TIGRO	C	2013	PTI et grossesse : modalités évolutives et facteurs pronostiques selon une étude prospective observationnelle comparative multicentrique nationale - TIGRO.
	PHRC	TOXOGEST	C	2010	Essai clinique, randomisé, multicentrique, comparant l'efficacité et la tolérance d'un traitement prénatal par l'association pyriméthamine et sulfadiazine versus spiramicine pour réduire la transmission verticale de Toxoplasma Gondii pendant la grossesse.
	PHRC	BIOMAN	C	2011	Recherche de biomarqueurs amniotiques prédictifs de la fonction rénale postnatale de fœtus porteurs d'une anomalie bilatérale du développement rénal.
	ANR	EPIMOMS	C	2011	épidémiologie de la morbidité maternelle sévère.
Interrégional	PHRC	CAFE1	P	2007	Conduites addictives chez la femme enceinte-Impact sur le développement fœtal (phase 1).
	PHRC	CAFE2	P	2008	Conduites addictives chez la femme enceinte-Impact sur le développement fœtal (phase 2).
	PHRC		P	2010	Evaluation du taux positif de l'imagerie échographique des 2èmes et 3èmes trimestres de la grossesse.
	PHRC	STRATHEGE	C	2008	Evaluation prospective multicentrique d'une stratégie thérapeutique antithrombotique chez des femmes enceintes à risque thromboembolique et/ou à risque de Pathologie Vasculaire Placentaire, stratégie déterminée à l'aide d'un score d'estimation de risque.
	PHRC	ICUP	C	2009	Evaluation du rapport bénéfice/risque d'une nouvelle ventouse obstétricale à usage unique versus la ventouse obstétricale de référence .ICUP
	PHRC	EDEN	C	2007	"Evaluation du Développement neurologique des Enfants ayant présenté en anténatal, au premier trimestre de la grossesse, une anomalie isolée de la Nuque.
	PHRC	PACCRETA	C	2013	Situation clinique à risque élevé de placenta accreta/percreta : Impact des modalités diagnostiques et de la prise en charge sur la morbidité maternelle.
	PHRC	FERHEP	P	2013	Analyse de la modulation du niveau d'hepcidine sérique en réponse à une prise orale de fer : intérêt pour le diagnostic différentiel entre maladie de la ferroportine et hépatosidérose dysmétabolique.

	PHRC		C	2012	Anomalies génétiques et moléculaires associées aux malformations adénomatoïdes kystiques du poumon (makp).
STIC		SNIPP	C	2006	Evaluation de l'efficacité des traitements substitutifs nicotiques (dispositifs transdermiques délivrant la nicotine pendant 16h/24h) chez 400 femmes enceintes fumeuses. Essai multicentrique, national, randomisé, contre placebo.
		SAFE 21	C	2013	Dépistage avancé non invasif de la Trisomie 21 sur sang maternel.
Appel d'Offre Interne		IMAGE	P	2014	Facteurs prédictifs cliniques et biologiques d'une anémie ferriprive au troisième trimestre de grossesse.
		PRUGNACY	P	2014	Influence de niveau de précarité en milieu rural sur l'accès aux soins pendant la grossesse.
			P	2011	Bronchiolite aigue du nourrisson : analyse d'un marqueur biologique de l'agression épithéliale, corrélation clinique et virologique.
Divers		LUMBAMUM		2011	Efficacité du soutien lombaire pendant la grossesse.

Collaborations se traduisant par des publications communes 2010-2015

National et Locorégional

1- Validation du score EPICES en population courante avec l'ORS Nord-Pas de Calais et le CETAF (Centre d'Etudes Techniques d'Appui et de Formation des Centre d'Examnn de Santé de l'Assurance Maladie)

2-BIHAN H, RAMENTOL M, FYSEKIDIS M, AUCLAIR C, GERBAUD L, DESBIEZ F, PEYROL F, THIEBLOT P, COHEN R, TAUVÉRON I (2012). Screening for deprivation using the EPICES score: A tool for detecting patients at high risk of diabetic complications and poor quality of life. *Diabetes & Metabolism*, 38:82-85.

3-LABBE E, BLANQUET M, GERBAUD L, POIRIER G, SASS C, VENDITTELLI F (2015) A new reliable index to measure individual deprivation: the EPICES score. *European journal of public health* 01/2015; DOI: 10.1093/eurpub/cku231

4- Etude des conduites addictives via un partenariat ADSSU, CPU, MESR et MILDECA – enquête nationale (36.000 répondants) en 2013-2014 et première publication en cours dans *European Journal of Public Health*

5- ANR GINSENG liant PEPRADE au LPC et à l'UMR ISIT
AUDREY LELONG^{1,2}, STEPHANIE LEGER^{1,3,4}, FRANCOISE VENDITTELLI^{1,2,5}, MARIE BLANQUET, CONG-TRI THUONG¹, BE'NE' DICTE BELGACEM^{1,2}, LAURENT GERBAUD (2015) A quality indicator can be biased by intra-hospital heterogeneity: the case for quality of patient record keeping in France. *European Public Health Association*. doi:10.1093/eurpub/ckv085

International

Partenariat avec l'Ukraine (STCU, Institut Universitaire SHUPIK)

MARIE C, GERBAUD L, BANDAJEVSKY Y, VERNAY D (2014). Efficacy of pectin in reducing cesium-137 load in chronically infected children: a literature review. *Pediatrics Eastern Europe*; 4, 08: 104-117.

Autres Eléments

✓ *Taux de citation, facteur h (all years) de certains membres de l'Axe ; Score SIGPAS (2010-2015 ; nombre de publications) de ceux ayant une activité hospitalière*

GERBAUD L (santé publique, MD PhD, responsable de service) ; h= 12-19, 684-1948 citations (WOS, POP); SIGAPS 222 (26)

LABBE A (pédiatrie, MD, responsable service), 976 citations, h=18 (WOS); SIGAPS 232 (30)

LEMERY D (obstétrique, MD PhD, responsable de service et chef de pôle) ; h=18-20, 1055-1550 citations (WOS, POP) ; SIGAPS 191 (31)

RUIVARD M (médecine interne, MD PhD, responsable de service) ; h=16-19, 893-1472 citations (WOS, POP); SIGAPS 273 (31)

VENDITTELLI F (gynécologue obstétricienne, MD PhD, VP CME CHU) ; h=14-16, 522-961 citations (WOS, POP); SIGAPS 262 (25)

✓ *Invitations et attractivité nationales et internationales*

- Participation aux recommandations pour la pratique clinique du CNGOF (D LEMERY, F VENDITTELLI)

- Conférence sur « Echographie obstétricale chez la femme obèse », CNGOF 2014 (D LEMERY)

- Conférence sur « Le Type de poussée et la position maternelle pendant le 2ème stade du travail, ont-ils un impact sur les issues obstétricales ou néonatales » (F VENDITTELLI)
- Conférence « Analyse des pratiques professionnelles en maternité: méthodologies et expériences. Sécurité et qualité en milieu intra et extra hospitalier : le rôle de la sage-femme ». Genève, (F VENDITTELLI)

✓ Participations à des jurys de thèse et HDR

LEMERY D : HDR Muriel DORET, (Lyon)

LEMERY D : Thèse R2D2

LEMERY D : Thèse Loïc BLANCHON (ED SVS Clermont)

LEMERY D : HDR Loïc BLANCHON (Clermont)

VENDITTELLI F : Thèse B COULM (ED Paris)

GERBAUD L : Thèse A GUTTMAN Clermont-Ferrand Sud 2014

GERBAUD L : Thèse A BOURMAUD St Etienne/Lyon Sud 2014 (rapporteur)

GERBAUD L : Thèse Nadia YAKHELEF, ED Economie et Gestion, UdA 2014 (rapporteur)

GERBAUD L : Thèse M SARRAZIN St Etienne/Ecole des Mines 2013 (rapporteur)

GERBAUD L : Thèse M SAINDOU Lyon I Claude Bernard 2013 (rapporteur)

GERBAUD L : Thèse F WAFO Université Blaise Pascal 2012

GERBAUD L : Thèse R KOHLER Université Lyon III 2012 (rapporteur)

GERBAUD L : HDR J POMMIER UdA/ EHESP 2011 (rapporteur)

✓ Co-encadrements:

NA

✓ Prix et Distinctions

- Communication orale : Vendittelli F, Tassiè MC, Lémery D. Taux de césariennes pertinentes au sein d'un réseau de santé périnatale. SFMP 2012, Montpellier 17-19 octobre. Communication orale primée.
- Bourse de recherche : Barasinski C. Prix de mièutique Mustela 2013 : Doctorat portant sur les « Pratiques obstétricales durant le 2^{ème} stade du travail ».

✓ Comités éditoriaux / Comités scientifiques / Comités d'organisation

Comité Editorial	Comité de Programme / Organisation	Comité de Lecture
<p>Comité de rédaction</p> <p>D LEMERY : J de Med Périnat jusque 2012.</p> <p>MP SAUVANT-ROCHAT : Bulletin de Veille Scientifique de l'AFSSET, puis de l'ANSES (de 2007 à 2012).</p> <p>L GERBAUD : J d'Economie Médicale depuis 1999, J Risque et Qualité depuis 2012.</p>	<p>Organisation et comité de programme</p> <p>Chair du comité de programme</p> <p>D LEMERY et F VENDITTELLI :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Congrès national de la Soc Fr de Med Périnat. Clermont-Fd 2016. - Journées Nationales de l'AUDIPOG. <p>F VENDITTELLI :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Congrès annuel du RSPA. <p>H LAURICHESSE : Congrès annuel du CPDP.</p> <p>Membre du comité de programme</p> <p>D LEMERY : Journée d'échographie du CNGOF.</p> <p>MP SAUVANT-ROCHAT : Société Française de Tabacologie. Clermont-Ferrand, 2013.</p>	<p>Referee</p> <p>D LEMERY : Eur J Obst Gynecol Reprod Biol; Ultrasound Obstet and Gynecol; J Gyn Obst Biol Reprod. Gyn Obst Fertil</p> <p>L GERBAUD : European Journal of Public Health, British Journal of General Practice</p> <p>MP SAUVANT-ROCHAT : Environmental Health Perspectives, Environmental Toxicology, Santé Publique</p> <p>H LAURICHESSE : Ultrasound Obstet and Gynecol;</p>

✓ Leaderships de réseaux et grands programmes scientifiques

D LEMERY : Membre de la commission d'échographie du CNGOF.

Créateur des 2 fédérations (Réseaux de périnatalité et Centres de Diagnostic prénatal).

Membre de Conseil scientifique et comité de pilotage différentes enquêtes nationales de santé publique (Cohorte EPIPAGE 2, enquête nationale périnatale 2010, cohorte ELFE).

F VENDITTELLI : Membre du comité de pilotage différentes enquêtes nationales de santé publique (Cohorte EPIPAGE 2, EPIMOMS, URGO, PACCRETA)

✓ *Expertises*

- D LEMERY est expert pour PHRC (DRCI du CHU de Clermont-Ferrand), et dans différents domaines de la périnatalité (Auprès du Ministère de la Santé), l'échographie (Auprès du Ministère de la Santé), et les données de santé (auprès de l'ASIP).
- MP SAUVANT-ROCHAT a effectué des expertises de projets scientifiques ciblés sur les contaminants environnementaux et leurs impacts sur la santé humaine pour l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du travail) (2009 – 2010) et l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) (2012).
- L GERBAUD est expert pour les PHRC nationaux et PREPS (Ministère de la Santé) et pour l'ANR.

Implication dans la formation par la recherche (2012-2015, EA créée de novo en 2012)

✓ *Enseignement*

PEPRADE assure la coordination des spécialités "Evaluation en Santé", "Science du risque en santé" et "Education thérapeutique du patient" de la mention de Master Education et Santé Publique.

Des enseignants-chercheurs et des chercheurs (Laurent GERBAUD, Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT, Françoise VENDITTELLI) de l'équipe PEPRADE assurent la majorité des enseignements théoriques des M1 et M2 de ces 3 spécialités. De plus, Didier LEMERY participe à un enseignement ciblé sur les Ultrasons dans le cadre du Master 2 Technologies Médicales.

Par ailleurs nous accueillons des stagiaires en M1 et M2 issus principalement de ces 2 Masters.

Implication dans la formation par la recherche		Nombre
Stagiaires Master (M1 & M2) et doctorants		
Thèses	<i>Doctorants en cours</i> Chloé BARASINSKI Omar KANJ Audrey LELONG Cecile MARIE <i>Doctorants prévus inscription 2015-16</i> Marine JULIEN-PRANAL Anne DEBOST-LEGRAND Maha ISSAOUI	4 doctorants actifs 3 doctorants prévus
M2	Chloé BARASINSKI Marine JULIEN Mathieu DOSSOU Sebti HAMLAOUI Inès PARAYRE Aurélie CABAILLOT (en cours) Bonnie DELEPINE (en cours) Benoit CHAUVEAU (en cours) Maha ISSAOUI (en cours) Isabelle PERRIER	5 M2 validés 4 M2 en cours
M1	Chloé BARASINSKI Marine JULIEN Laura BERNARD Mathieu DOSSOU Paulinier CHINIER Emma ROBAIL Kelly PEREIRA-MAYA A ASUNCION Geoffrey PAILLOT DE MONTABERT Manon GOURBEUIL (M1 ESP – 2014) Anna UGHETTI (M1 ESP – 2014)	11
Thèses et HDR soutenues		
Thèse d'Université soutenues Yacine THIAM Pas d'HDR		1
Encadrement		
L'encadrement des stagiaires et doctorant est réalisé en interdisciplinaire, en fonction des sujets. Une évaluation a lieu en fin de 1 ^{er} et de 3 ^{ème} année.		
Cursus		
M2 Santé publique avec 4 options M2 Technologies et santé : participation aux cours		

Produits adossés à la recherche et destinés à des acteurs non académiques

L'ensemble des membres, au moins ceux ayant une HDR, de l'EA 4681 sont sollicités pour participer à différentes instances au plan national ou international.

Echelon international : I gerbaud

Collaboration avec STCU (Science Center for TEchnology in Ukrain – organe commun à l'UE, les USA, le Canada et le Japon), les autorités ukrainiennes sanitaires de la région de Kiev, L'Institut Universitaire Médical SHUPIK de Kiev, dans le cadre du partenariat de l'UE et du Conseil régional de Rhône-Alpes sur le suivi de l'évolution des conséquences pour la santé de la mère et de l'enfant de l'exposition chronique aux polluants (radio-éléments, pesticides,...) et de la restructuration du système de santé (suite à son effondrement progressif à partir des années 1998-1999), piloté au sein de PEPRADE par A LABBE, L GERBAUD et F VENDITTELLI

Echelon national : d lemercy

- Membre nommé du CA de l'**Agence de la Biomédecine**, (2008-2014)
- Membre nommé du Conseil Scientifique de l'**Agence de la Biomédecine**, (2008-2012)
- Membre nommé de la **Commission Nationale de la Naissance et de la Santé de l'Enfant** (personnalité qualifiée) 2006-actuel
- Membre Nommé (Personnalité qualifiée) de la **Commission Nationale d'Echographie Obstétricale et Fœtale** (CNEOF)
- Membre désigné de la **Conférence Nationale de Santé** (représentant la conférence régionale d'Auvergne) 2006-2010
- Expert auprès du GEMSIH, du GIP-DMP puis de l'**Agence des Systèmes d'Information Partagée (ASIP) Santé participant aux groupes « réseaux de Santé » et « DMP de l'enfant ».**
- Expert auprès de la DGOS et de la DGS (**ministère de la Santé**) dans le domaine de la périnatalité
- Membre de Conseil scientifique et comité de pilotage différentes enquêtes nationales de santé publique (Cohorte EPIPAGE 2, enquête nationale périnatale 2010, cohorte ELFE)

- Président & fondateur de la **Fédération Française des Réseaux de Périnatalité** 2007-2010,
- Président & fondateur de la **Fédération Française des Centres de Diagnostic Prénatal** 2007-2010
- Membre élu du CA de la **Société Française de Médecine Périnatale**
- Membre nommé du CA du **Collège National des Gynécologues Obstétriciens Français** (CNGOF),
- Membre de la **commission d'échographie du CNGOF**
- Président de l'**AUDIPOG**, Association des Utilisateurs de Dossiers Informatisés en Pédiatrie Obstétrique et Gynécologie.

Echelon national : I gerbaud

- Vice-président (1994-2013) puis président (depuis 2014) de l'Association des Directeurs de Service de Santé Universitaire **ADSSU** seule association reconnue par la CPU et le MESR
- Membre de la commission d'experts scientifiques **REACH de l'ANSES** depuis 2009
- Médecin référent du programme populations vulnérables et précaires du **CETAF** (Centre d'Etudes Techniques d'Appui et de Formation des Centres d'Examen de Santé de l'Assurance Maladie) depuis 2004
- Membre de la Commission Nationale des Contrats du **CNOM** depuis 2008
- Membre du CA du **CNOUS** depuis 2014
- Membre de la **Conférence Nationale de Santé et de l'Autonomie** depuis 2011, élu à la Commission Spécialisée dans le Droit des Usagers - CSDU depuis 2010, réélu en 2015
- Membre de la commission d'évaluation économique et de santé publique **CEESP de la HAS** depuis 2013
- en charge du volet santé (groupe technique n°3) du **Programme National de Vie Etudiante** du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (2014)

Echelon national : m.p. sauvant-rochat

- **Au sein de l'AFSSA** (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) (de 2003 à 2011) :
 - Membre du Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Eaux »
 - Participation comme membre aux Groupes de Travail « Eaux minérales naturelles », « Ré-utilisation des eaux usées traitées » et « Non-conformité des eaux destinées à la consommation humaine »

- **Au sein de l'AFSSET** (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) (de 2007 à 2011) :
 - Membre du Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Eaux et Agents Biologiques »

- Présidente du Groupe de Travail « Evaluation des risques sanitaires liés aux produits et procédés de traitement des eaux de piscines »

- **Au sein de l'ANSES** (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire) (depuis 2013) :
 - Membre du Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Eaux »
 - Membre du Groupe de Travail « Évaluation des risques sanitaires associés aux paramètres chimiques des eaux destinées à la consommation humaine » (GT « ERS EDCH ») (depuis 2013)
 - Présidente du Groupe de Travail « Évaluation de l'efficacité et de l'innocuité des déchloramineurs équipés de lampes à ultra-violet mis en œuvre dans les piscines publiques » (GT « Déchloramineurs ») (depuis 2013)
 - Membre du Groupe de Travail « INCA – 3 » (depuis 2014)
- Membre nommé du **Conseil Scientifique Pharmacie du Centre National des Concours d'Internat (CNCI)** – Arrêté ministériel du 12 novembre 2002 (depuis 2002)
- Membre de la **Société Française de Santé Publique (SFSP)** (depuis 1998)
- Membre de la **Société Française de Santé Environnement (SFSE)** (depuis 2010) et membre du Groupe de Travail « Méthodologie d'évaluation du risque » (depuis 2013)

Echelon national : f vendittelli

- Conseil d'administration de la **Société Française de Médecine Périnatale**
- Conseil d'administration du **Collège des Gynécologues Obstétriciens (CNGOF)**
- *Conseillère scientifique de l'Audipog*
- *Responsable de la commission qualité du CNGOF*
- *Expert auprès de l'ASIP santé (volet périnatalité DMP)*

Echelon local : d lemercy

- *Président fondateur du GIE « Réseau de Santé périnatale d'Auvergne » (2004-actuel)*
- Membre de la **Conférence Régionale de Santé** d'Auvergne
- *Membre fondateur élu du CA de l'association SIMPA (Système d'Information Médicale Partagée en Auvergne = plate forme numérique régionale de santé) 2004-2010*

Echelon local : l gerbaud

- Membre du comité exécutif de l'**ANPAA 63** depuis 2009
- Membre du **CA du CROUS** de Clermont-Ferrand depuis 2013
- *Vice président de l'Institut d'Economie de la Santé et de Santé Publique (IE2SP) de l'Université d'Auvergne*
- Pilote du pôle **LARA** (Lyon Auvergne Rhône-Alpes) associant les SUMPPS de Chabéry-Anancy, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon et Saint Etienne
- **Directeur du Service de Santé Universitaire** depuis 1994

Echelon local : m.p. sauvant-rochat

- Vice-Présidente et Membre nommé représentant l'U.F.R. de Pharmacie de l'Université d'Auvergne au **Conseil d'Administration de l'Observatoire Régional de la Santé Auvergne (ORS Auvergne)** (depuis 2001)
- Membre nommé (4^{ème} Groupe – Personnalités qualifiées) au **CODERST (Comité Départemental d'Évaluation des Risques Sanitaires et Technologiques) du Puy de Dôme (63)** (depuis 2004)
- Membre nommé (Personnalités qualifiées) au **Conseil Scientifique du Parc Régional du Livradois Forez** (depuis 2015)
- Membre nommé (Collège N°5 – Personnalités qualifiées) de la **Conférence Régionale de Santé (C.R.S.) de la Région Auvergne** (de 2005 à 2009)
- Membre nommé du **Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel d'Auvergne (C.S.R.P.N.)** (de 2005 à 2009)
- Membre élu représentant l'U.F.R. de Pharmacie au sein du **Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire (C.E.V.U.) de l'Université d'Auvergne** (de 2000 à 2004)
- Membre nommé au **Comité Hygiène et Sécurité de l'Université d'Auvergne** (de 1999 à 2007)
- Membre élu au **Conseil de Gestion de l'U.F.R. de Pharmacie/Université d'Auvergne** (depuis 1996)
- Présidente du Comité d'organisation du **Colloque "Le Pharmacien, acteur de santé Publique"** (colloques organisés en 2008, 2009, 2010 et 2012).
- Membre du Comité d'organisation de la **Manifestation Pédagogique « Les Cours d'Eau d'H2O »** (action pédagogique annuelle mobilisant tous les acteurs de l'eau sur la Région Auvergne et organisée en **partenariat avec le Rectorat de Clermont-Ferrand** – accueil sur 2 jours d'environ 4000 enfants par an à Clermont-Ferrand (depuis 2002).

Relations partenariales / Impacts

Nous avons un partenariat industriel contractualisé (Société SuperSonic Imagine). Cette société met à notre disposition un échographe AIXPLORER disposant des versions logicielles pré-commerciales et surtout d'un accès permettant l'évaluation de certaines de ses capacités. Nos travaux sont menés en collaboration avec les ingénieurs développant la machine. Les prochains mois devraient voir la parution de résultats novateurs en imagerie ultrasonore.

Analyse SWOT

Forces

- Equipe soudée.
- Equipe Pluri Disciplinaire.
- Equipe Multi Disciplinaire (médecins et ingénieurs).
- Organisée.
- Thématique en relations directes avec le Métier Médical.
- Accès privilégié à diverses bases de données.
- Emergence d'une recherche en Maïeutique.
- Partenariat industriel novateur.

Faiblesses

- Disponibilité des HDR insuffisante pour la recherche en raison des charges cliniques et de gestion hospitalière et à l'implication de plusieurs membres de l'équipe dans des structures nationales.
- Manque un DATA MANAGER temps plein +++

Opportunités

- Partenariat industriel, aide au développement et donc accès à la pré-commercialisation.
- Absence de travaux par d'autres équipes sur la qualité image et la célérité ultrasonore.
- L'élastographie chez le fœtus.
- Participation des HDR aux instances nationales professionnelles de santé publique.
- Programme Européen "Santé Mère et Enfant Ukraine".
- Thématiques de travail proches des applications cliniques.

Risques

- Concurrence d'une équipe INSERM centrée "santé publique en périnatalité".
- Notre recentrage est peut être bénéfique.
- Impact factor moyen de la spécialité peu élevé pouvant donner une image négative.
- Nécessité de dépenser une certaine énergie à publier en Français (vulgarisation nécessaire, restant attendue du CNU) dans des revues peu ou pas cotées en IF.

3. Stratégie et perspectives scientifiques pour le futur contrat

3.1. Projet de l'Unité - Stratégie collective

Le contexte

Le projet 2017-2021 de l'Institut Pascal s'inscrit dans i) un cadre d'établissements : UCA, CNRS et SIGMA (l'IFMA et l'ENSCCF forment l'Ecole SIGMA à partir du 1er janvier 2016) ; ii) un cadre régional de site (projet CAP2025)/spécialisations S3) ; iii) un cadre régional élargi (grande Région Rhône-Alpes-Auvergne) ; enfin iv) un cadre d'agences de moyens nationales et européenne. Les éléments du contexte 2017-2025 du site clermontois sont rappelés ici :

Projet I-SITE CAP2025 et Laboratoire partagé avec la Manufacture Michelin

Les communautés qui forment aujourd'hui l'IP ont été motrices de la structuration des Sciences pour l'Ingénieur du site depuis les années 2000. Aujourd'hui, le processus amorce sa prochaine étape d'évolution avec l'inscription de l'Axe dit SPI2 **Sciences pour l'Ingénieur au service des Systèmes Performants et Intelligents** comme l'un des quatre Axes affichés dans le projet de candidature PIA2 I-SITE clermontois. Cet Axe est coordonné par M. Dhome, actuel Directeur de l'IP. Parallèlement et s'inscrivant in fine dans ce cadre, la Manufacture Michelin et l'IP ont opté pour la création d'un laboratoire partagé. Deux thématiques y sont adressées directement par l'IP : la **cobotique**, placée sous la responsabilité d'un cadre de l'Axe MMS (G. Gogu), la **transitique autonome**, placée sous la responsabilité d'un cadre de l'Axe ISPR (T. Chateau). Le LabEx l'MobS3 sera intégré à l'Axe SPI2 si le projet CAP2025 est lauréat de l'AAP PIA2.

Etablissement unique UCA et création d'un 5e Axe à l'IP

L'Université Blaise Pascal et l'Université d'Auvergne (UdA) doivent fusionner au 1er janvier 2017 pour former l'Université Clermont Auvergne (UCA). Dans ce cadre, un nouvel affichage des expertises clefs de cet établissement est proposé, avec la création de Collegiums. L'Institut Pascal sera ainsi principalement affilié au Collegium **Technologies, Sciences pour l'Ingénieur**, et secondairement aux Collegiums **Sciences Fondamentales** et **Sciences de la Vie, Santé, Environnement**.

La création de l'établissement universitaire unique UCA offre le cadre administratif idéal pour poursuivre la structuration des activités thématiques. C'est une opportunité que nous avons saisie pour investir de nouveaux fronts de science à fort impact sociétal. Nous proposons de travailler avec les groupes ISIT (UMR UdA/CNRS 6284), IGCNC (EA UdA 7282) et PEPRADE (EA UdA 4681) sur le champ scientifique du guidage par l'image de gestes chirurgicaux et interventionnels, et de diagnostics. Un 5e Axe **Thérapies Guidées par l'Image** (TGI) sera ainsi créé, avec un périmètre ciblé et contraint autour de quatre thèmes applicatifs : techniques interventionnelles percutanées, endoscopie, neuronavigation, environnement et technologies de la grossesse. La stratégie de reconfiguration s'appuie sur le fort potentiel applicatif en adéquation avec les enjeux médico-économiques. La plus-value est donnée par l'immersion dans les services de soin qui permet d'établir un ancrage fort et un feedback d'interaction direct entre les procédures et outils développés par la science et la mise en situation avec le patient.

Cette proposition de l'Institut Pascal et du collectif ISIT/IGCNC/PEPRADE est soutenue par l'Université Blaise Pascal, l'Université d'Auvergne et l'INSIS CNRS. Ce 5^{ème} Axe renforce l'interdisciplinarité entre deux grands domaines disciplinaires, les Sciences et Technologies et les Sciences du Vivant, laquelle était déjà présente à l'IP avec l'Axe GePEB, et qui est maintenant étendue au domaine médecine-santé. Ces coopérations s'exerceront sur une unité de site, et dans une unité de stratégie scientifique collective.

Stratégies nationales : spécialisation des sites régionaux

Les thématiques portées par l'UCA au travers de l'IP sont cohérentes avec le Schéma Régional de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (SRESRI), le CPER 2015-2020 par le biais de l'Axe MMaSyf (Mobilités - Matériaux et Systèmes du Futur) et la Stratégie Européenne de Spécialisation Intelligente des régions (S3). Ainsi, sur les cinq Domaines d'Innovation Stratégiques (DIS) définis pour la Région Auvergne, l'IP s'inscrit dans :

- DIS 2 *Systèmes agricoles durables*

Développer de nouveaux produits et services pour améliorer la performance des systèmes de production agricole et aboutir à des produits durables, de meilleure qualité et respectueux de l'environnement.

- DIS3 *Espaces de vie durable*

Eco-concevoir et produire des espaces de vie durables valorisant le patrimoine environnemental, l'offre culturelle et touristique.

- *DIS5 Systèmes intelligents et performants*
Renforcer les compétences et les capacités d'intégration et d'ingénierie en matière de machines intelligentes et de systèmes de production performants, pour améliorer la compétitivité du tissu industriel auvergnat et développer une offre à l'export.

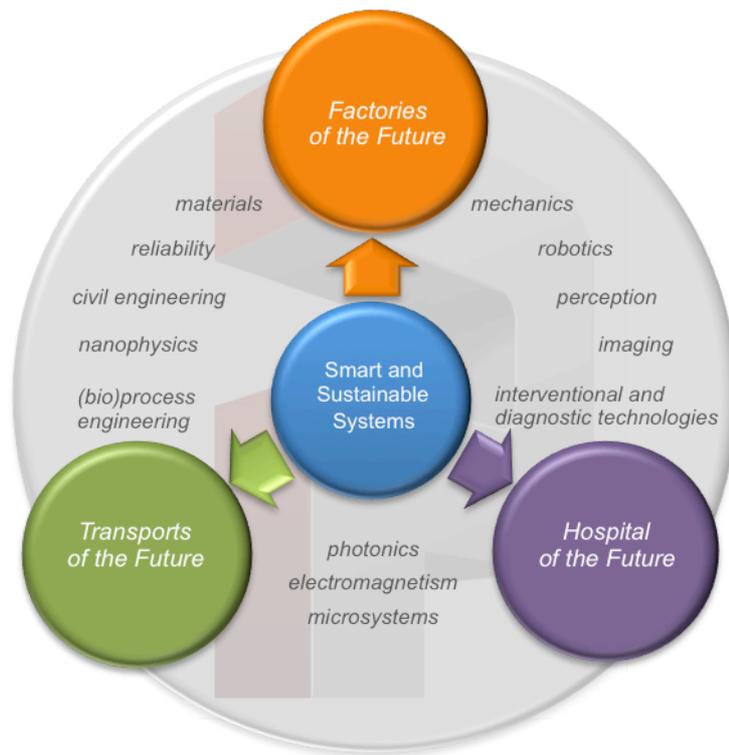
Avec la transition vers la grande Région Rhône-Alpes-Auvergne, et avec la création du 5e Axe TGI, le projet de l'Institut Pascal, sur ses chantiers collectifs et sur ses thématiques de recherche spécifiques dans les Axes, sera cohérent avec les DIS définis pour Rhône-Alpes. Ainsi, le projet ouvre des perspectives sur des collaborations établies, ou à établir, avec les laboratoires et les industriels du bassin rhône-alpin :

- *DIS1 Santé personnalisée et maladies infectieuses et chroniques*
Cibles : macro théranostique, traitement adapté, personnalisation, innovation médicale technologique, prédiction par modélisation, transformation progressive de l'environnement du patient lors de l'hospitalisation, imagerie, matériel médical, technologies "omics" (*Axe TGI et actions interdisciplinaires*).
- *DIS2 Procédés industriels et usine éco-efficente*
Les thématiques de spécialisation intelligente (TSI) identifiées sont les procédés éco-efficents, la chimie biosourcée, la métrologie et l'instrumentation environnementale (*Axes GePEB et PHOTON et actions interdisciplinaires*).
- *DIS3 Réseaux et stockage d'énergies*
Etude des perturbations électromagnétiques dans les systèmes d'énergie ou de communication ; cohabitation des électroniques et rendement des systèmes de conversion d'énergie embarquée (*Axe PHOTON*).
- *DIS4 Bâtiment intelligent à haute efficacité énergétique*
L'Axe MMS développe une partie de ses recherches sur les TSI de la gestion active du bâtiment et du développement de matériaux innovants utilisés pour la construction. En particulier, la thermique du bâtiment est portée au projet comme thématique émergente.
- *DIS5 Usages, technologies et systèmes de mobilité intelligents*
Les TSI des systèmes de transports intelligents et du véhicule du futur sont directement adressés par les travaux des Axes ISPR et MMS.
- *DIS6 Technologies numériques et systèmes bienveillants*
Le DIS6 investit la production avancée et la robotique industrielle, la robotique de service et intelligence ambiante (*Axes ISPR et MMS*). Le DIS6 affiche également les technologies génériques clés (Key Enabling Technologies - KET) sur les compétences apparentées des nanotechnologies, de la photonique, de la micro- et nanoélectronique et des biotechnologies. Les Axes PHOTON et GePEB inscrivent leurs recherches sur ces KET.

L'Institut Pascal est enfin un acteur du Pôle de Compétitivité ViaMéca, lui même acteur du DIS5 auvergnat et des DIS2, 5 et 6 rhône-alpins.

Objectif de l'Institut Pascal

L'Institut Pascal veut être un **laboratoire interdisciplinaire de recherche et de formation, développant des technologies industrielles et médicales**, dont l'objectif est de contribuer à trois domaines d'application stratégiques : **l'usine du futur, les transports du futur et l'hôpital du futur**. L'Institut Pascal développera des systèmes innovants et intelligents par une approche **systémique** et **multi-échelle**, s'appuyant sur des champs scientifiques identifiés : électromagnétisme, fiabilité, génie des (bio)procédés, génie civil, imagerie, matériaux, mécanique, microsystèmes, nanophysique, perception, photonique, robotique, technologies interventionnelles et diagnostiques médicales.



Les trois domaines stratégiques applicatifs répondent à une demande sociétale forte ; ils sont inscrits dans les plans de soutien régionaux, nationaux et européens. En mettant en oeuvre des compétences croisées dans les disciplines de la physique, des sciences de l'ingénieur, de la biologie et de la médecine, l'Institut Pascal travaillera aux interfaces sur les concepts fondamentaux préfigurant de nouveaux paradigmes de composants ou de systèmes. L'IP sera en capacité de proposer et de développer des briques scientifiques et technologiques pour chacun des trois domaines applicatifs.

Les actions scientifiques seront développées en coeur d'expertise pour certaines, et pour d'autres en interdisciplinarité, soit qu'elle s'exerce dans un même domaine Sciences et Technologies ou Sciences de la Vie, soit qu'elle s'exerce entre ces deux domaines. Ainsi, la réalisation du projet collectif de l'Unité s'articulera autour des cinq Axes de l'Institut Pascal.

Axe GePEB

L'Axe GePEB réunit des enseignants-chercheurs de génie des procédés, de biochimie appliquée, de microbiologie industrielle et de physicochimie. Avec des visions qui s'enrichissent mutuellement et se complètent et avec l'expérience forte de la multidisciplinarité qui a été mise en pratique sur de nombreux sujets dans le contrat précédent, l'Axe GePEB restera attaché à l'approche systémique, au recours à la modélisation et à la préoccupation de déboucher sur des applications centrées sur les trois domaines stratégiques précédents.

L'Axe GePEB a l'ambition de poursuivre des travaux pour traiter aux échelles les plus fines la question ouverte de l'interrelation entre un microorganisme, une cellule vivante ou un catalyseur bioinspiré et leur environnement réactif. Les débouchés applicatifs des travaux de l'Axe GePEB resteront centrés sur la compréhension, la maîtrise et le développement des procédés et des bioprocédés. En outre, l'Axe GePEB capitalisera ses acquis pour développer explicitement des approches systèmes. Son ambition est de développer la visibilité de l'Axe dans les secteurs applicatifs suivants :

- Transports du futur : **bioénergies** et procédés de production de biocarburants de 2^{ème} et 3^{ème} génération.
- Usine du futur : **biosynthèses** de molécules plateformes ; **traitement de coproduits** végétaux : extraction, caractérisation et valorisation de molécules biosourcées ; **génie des procédés alimentaires**.
- Hôpital du futur : **application de la modélisation** des phénomènes de transfert de rayonnement en milieu dense, absorbant et diffusant pour l'imagerie médicale ; **utilisation des modèles** de transfert (matière, chaleur, microfluidique) pour interpréter le fonctionnement cellulaire.

Axe ISPR

Le projet de l'Axe "Image, Systèmes de Perception, Robotique" s'inscrit, en continuité avec le précédent quinquennal, dans les domaines des systèmes de perception et des systèmes robotiques complexes à travers l'étude des concepts théoriques, des aspects méthodologiques, architecturaux et des plateformes expérimentales s'y affairant. Les contributions futures alimenteront en particulier les trois grands domaines stratégiques affichés par l'Institut Pascal. Une priorité sera donnée aux recherches permettant de fédérer les travaux à travers des partenariats forts entre les acteurs complémentaires du site (autres Axes de l'Institut Pascal, IRSTEA-TSCF, LAPSCO (UMR SHS UBP/CNRS 6024), Laboratoire sans murs MICHELIN) et en accord avec les politiques scientifiques de site, nationale et européenne (LabEx IMobS3, I-SITE CAP2025, CPER, ANR, FUI, H2020). Un effort, toujours présent, consistera à finaliser les recherches par des démonstrateurs réalistes.

- Dans le domaine de l'Usine du futur, l'Axe ISPR abordera en collaboration avec l'Axe MMS, la perception artificielle et la commande des systèmes robotiques complexes pour l'amélioration de l'autonomie, de la flexibilité et de l'agilité des systèmes de production. Ceci s'exprimera à travers la mise en œuvre de robots manufacturiers coopérants en prenant en compte l'interaction homme-machine pour effectuer de la manipulation collaborative robot-robot et robot-humain (planification des mouvements, commande multimodale, manipulation dextre). Il s'agira d'accéder à la maîtrise de la complexité dans les systèmes robotiques, que celle-ci soit introduite par les capteurs utilisés, les spécificités de la structure mécanique du système, les incertitudes liées à l'environnement, ou encore la nature des tâches à effectuer en fonction des environnements statiques et dynamiques rencontrés.
- Dans le domaine du Transport du futur, l'Axe ISPR abordera notamment en collaboration avec Irstea-TSCF la perception artificielle et la commande des véhicules intelligents. Cela s'exprimera à travers la mise en œuvre de systèmes d'aides à la conduite et de véhicules autonomes fiables. Il s'agira de produire des méthodes d'interprétation de scènes, de localisation précise, de cartographie, de contrôle mono/multi modal latéral et longitudinal et de navigation robuste pour des robots mobiles autonomes dans différents environnements dynamiques connus, inconnus ou incertains (urbains, industriels et naturels).
- Dans le domaine de l'Hôpital du futur, l'Axe ISPR abordera en collaboration avec l'Axe TGI la perception artificielle et la commande dédiées à l'instrumentation médicale intelligente. Cela s'exprimera à travers la mise en œuvre de systèmes de mesures ainsi que la mise en œuvre de systèmes de robotique chirurgicale en milieux fortement contraints. Il s'agira de produire des méthodes de reconstruction 3D précise et temps réel, d'apprentissage et d'interprétation de scènes, de modélisation et d'estimation, de détection, suivi et reconnaissance d'objets dans des séquences vidéo et de contrôle de robots.

Axe MMS

Les travaux menés par l'Axe MMS sont multidisciplinaires dans les domaines de la mécanique, du génie mécanique et du génie civil tout en cultivant de forts liens avec les milieux industriels et sociaux-économiques. Les différents thèmes (ou groupes scientifiques) développent des méthodologies pour la modélisation et l'expérimentation aux échelles des matériaux, des structures, des systèmes mécaniques et des systèmes de production avec un intérêt particulier pour l'adéquation entre modélisation et expérimentation. Ces développements se poursuivront naturellement grâce à l'appui des plateformes technologiques (MSGC, IUT Montluçon, CTT IFMA, 2MATECH, ...).

L'ambition de l'Axe MMS est d'apporter des solutions pour les défis nationaux et internationaux, en matière de performance et d'agilité des systèmes, d'éco-conception et d'éco-construction, de maîtrise des incertitudes et de la durabilité, et d'économie d'énergie. Cette politique s'inscrit parfaitement dans le cadre des enjeux pour la nouvelle France industrielle et pour le développement d'espaces de vie durables. Ces enjeux résultent d'un besoin urgent d'innover aux interfaces disciplinaires, en considérant les différentes échelles de la mécanique et du génie civil (allant du matériau au système industriel, en passant par les structures et les assemblages) et en tenant compte des conditions d'exploitation réelles, en termes d'évolution et de variabilité. Dans ce cadre, l'ingénieur constate, plus que jamais, que le développement de systèmes mécaniques ne doit pas rester mono-objectif, puisque la performance présente des facettes multiples et en partie contradictoires. Ainsi, la conception des systèmes performants nécessite la maîtrise d'un grand nombre de phénomènes et de processus, et surtout de leurs interrelations.

Les grandes orientations de l'Axe MMS peuvent être résumées comme suit :

- relever principalement les défis associés à l'Usine du Futur ;
- développer des techniques, des matériaux, des machines et des systèmes éco-responsables ;
- développer des techniques de caractérisation et d'expérimentation, en laboratoire et in-situ ;
- maîtriser les incertitudes, les variabilités et la durabilité des matériaux et structures ;

- optimiser les cycles de vie des matériaux et structures, et des systèmes mécaniques et industriels.

Le projet de recherche de l'Axe MMS se décline en 16 actions de recherche réparties sur les trois thèmes : MS (8), MMSI (4) et MPMS (4), avec de fortes interactions entre les différents thèmes sur la majorité des actions, témoignant d'une volonté forte de mener des travaux collaboratifs aux interfaces en croisant les compétences des membres de l'axe. Pour cette raison, l'axe MMS s'est fixé cinq objectifs, en liens avec le SWOT des différents thèmes présentés dans le bilan de l'Axe :

- développer et encourager les projets de recherche aux interfaces générateurs d'innovation sans oublier les sujets de recherche amont constituant de vraies pépites de recherche pour l'Axe ;
- poursuivre les actions de recherche en forts liens avec les milieux industriels et socio-économiques ;
- poursuivre les dépôts de projets nationaux et internationaux fédérateurs ;
- poursuivre les initiatives de collaborations internationales et développer les projets internationaux ;
- poursuivre les travaux menés dans différents réseaux scientifiques nationaux et internationaux.

La mise en œuvre du projet repose fortement sur des travaux interdisciplinaires entre les thèmes et les axes de l'Institut Pascal. La réalisation des programmes expérimentaux s'appuiera en partie sur les moyens des plateformes technologiques (2MATECH, MSGC, IUT Montluçon, IFMA) en plus de la plateforme Ecografi (2015) qui a permis de se doter de moyens d'essais complémentaires. L'axe MMS poursuivra sa politique à travers les programmes régionaux, nationaux et internationaux, et sur les nombreux partenariats industriels. Le Labex ImobS3 et l'Equipex Robotex, ainsi que le projet I-Site et le laboratoire partagé avec la Manufacture Michelin, sont les vecteurs principaux pour le développement de ce projet. Ce projet s'inscrit naturellement dans la Stratégie de Spécialisation Intelligente de la nouvelle région Rhône-Alpe-Auvergne, notamment les Domaines d'Innovation Stratégiques « Espaces de vie durables » et « systèmes industriels intelligents et performants ».

Axe PHOTON

Les activités de l'Axe PHOTON jouissent d'une très bonne réputation nationale et internationale, l'Axe étant leader mondial dans certains domaines émergents tel qu'en polaritonique excitonique. Cette reconnaissance est mise en évidence par le nombre et la qualité des publications scientifiques, des brevets, par les nombreuses collaborations académiques et industrielles, à l'échelle locale, nationale, et internationale, par la participation et la coordination de projets nationaux et internationaux. La structuration en trois thèmes scientifiques, Nanostructures et Nanophotonique (N2), Microsystèmes et Nano-Matériaux (MINAMAT), Compatibilité Electromagnétique (CEM), s'est révélée tout à fait pertinente et sera préservée dans les prochaines années. La distribution de personnels entre thèmes, les schémas de gouvernance et d'animations ne sont pas appelés à fortement évoluer.

Les activités de l'Axe porteront sur des aspects fondamentaux, comme la compréhension des transitions de phase bosoniques dans les systèmes hors équilibres, l'étude d'isolants topologiques photoniques, la compréhension des mécanismes de croissance de nanofils de semiconducteurs, le développement de nouvelles méthodes de résolution des équations de Maxwell dans des nanostructures complexes, la compréhension des interactions entre ondes électromagnétiques et systèmes vivants (Bio-CEM). Ces activités fondamentales répondent au défi de la société de tous les savoirs.

Egalement de nombreuses activités menées au sein de l'Axe PHOTON ont un fort potentiel applicatif. C'est le cas des activités expérimentales et sur les véhicules électriques menés en Compatibilité Electromagnétique, ou de la réalisation d'une nouvelle génération de micro-capteurs de gaz polluants, ces deux activités faisant l'objet de projets de maturation soutenus par la SATT Grand Centre. Les activités appliquées de PHOTON concerneront également le design et l'étude de nanocomposants photoniques via l'utilisation de cavités optiques, de cristaux photoniques, de métamatériaux, de résonances plasmoniques et excitoniques, de l'optimisation de cellules photovoltaïques, de l'efficacité de la génération et de l'extraction de lumière dans des diodes électroluminescentes.

Ces activités à fort potentiel applicatif répondront de manière directe à de nombreux défis sociétaux liés aux thèmes de l'énergie, de l'environnement, de la transmission de l'information sécurisée. Ces activités pourront également représenter un support direct pour les transports, l'usine et l'hôpital du futur. Un projet spécifique visant à modéliser la distribution du champ électrique produit lors de processus de stimulation cérébrale profonde est d'ores et déjà en cours de développement en collaboration avec l'Axe TGI.

Notre ambition au cours des cinq prochaines années sera de maintenir notre niveau d'excellence collective dans un environnement en forte évolution, avec de nombreuses opportunités, mais possiblement fortement dégradé par la baisse de certains financements. Des projets structurants au niveau de l'Axe seront élaborés et proposés. Nous envisageons ainsi la soumission prochaine d'un projet ERC Advanced

Grant dédié à l'étude du potentiel des différentes formes de couplage fort lumière matière, à savoir la polaritonique excitonique et la polaritonique plasmonique. Le projet impliquera la totalité de N2, une partie de MINAMAT, soit environ les 50% de l'Axe (les activités à caractère fondamental).

Axe TGI

TGI, dont la création est concomitante à son intégration dans l'Institut Pascal, propose un projet propre édifiant la première brique du domaine stratégique de l'hôpital du futur. L'Axe ne peut prétendre participer aux deux autres domaines stratégiques de l'usine et des transports du futur ; en tout cas pas de manière directe et immédiate.

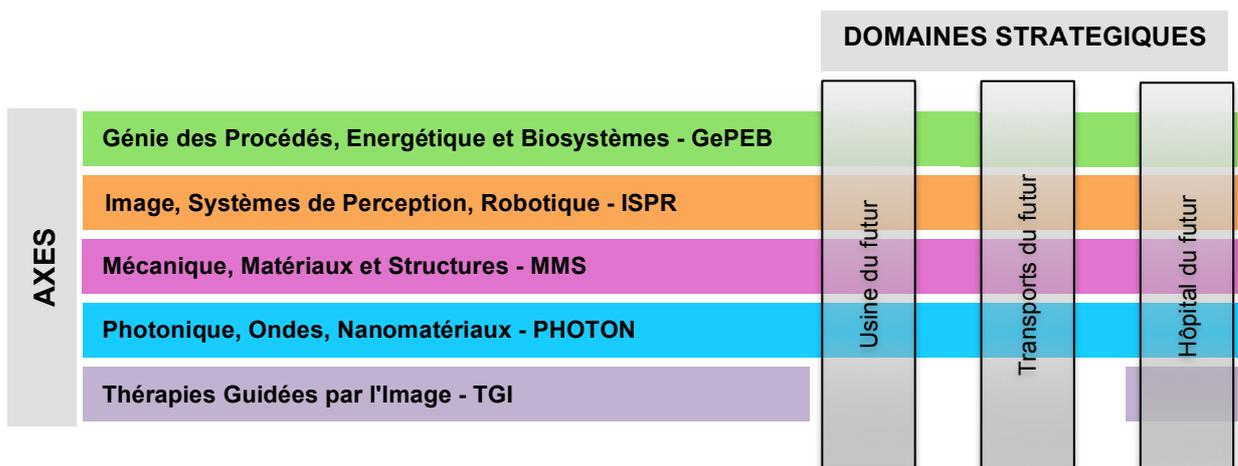
Le projet commun aux quatre thèmes (ALCOV, CAVITI, IGCNC et PEPRADE) est appelé *enrichissement des procédures personnalisées (ENR_PROBERS)*, couvrant diagnostic, planning pré procédure, navigation intra procédure, intégration des informations post procédure, et analyse d'impact. Il permet ainsi de poursuivre les travaux des équipes reconfigurées par thème, de grouper les compétences et ouvre des opportunités de fertilisation croisée dès le court terme avec les autres axes de l'IP. A moyen et long terme les divers champs scientifiques de l'IP peuvent contribuer à des développements sur les technologies interventionnelles et diagnostiques médicales.

Autour du projet ENR_PROBERS plusieurs travaux pourront aborder des verrous scientifiques sur des technologies, interventionnelles et diagnostiques, appliquées aux thérapies guidées par l'image. Ces verrous seront étudiés selon les opportunités de fertilisation croisée au sein de l'IP et des interactions avec l'environnement scientifique général ; certains faisant déjà l'objet de travaux ou de projets dans les thèmes.

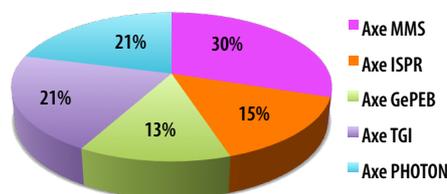
- En imagerie, vision et perception (ISPR), il s'agit des développements en analyse et augmentation d'information, comme le recalage temps réel entre vision endoscopique, objets virtuels, et reconstruction d'imagerie de coupe (ALCOV).
- Le développement de l'instrumentation intelligente (ISPR, MMS) va être déployé dans les quatre thèmes de l'Axe. Par exemple, l'instrumentation robotisée s'appuiera sur les travaux antérieurs locaux interdisciplinaires, sur le déploiement d'un robot chirurgical invasif en milieu fortement contraint, le cerveau, adapté à l'organisation des faisceaux de matière blanche (IGCNC). Plusieurs questions seront adressées comme par exemple : (1) la maîtrise de la complexité dans les systèmes robotiques, que celle-ci soit introduite par les capteurs utilisés, les spécificités de la structure mécanique du système, les incertitudes liées à l'environnement, ou encore la nature des tâches à effectuer ; (2) la modélisation, perception et commande de ces systèmes robotiques complexes afin d'augmenter leur autonomie et leur adaptabilité aux tâches à réaliser en fonction des environnements statiques et/ou dynamiques rencontrés.
- La connaissance des matériaux devrait s'étendre aux tissus biologiques pour mieux maîtriser l'impact et l'efficacité de l'instrumentation, quel que soit l'organe ou l'instrument (actuel ou futur) (MMS, ISPR, GePEB) ; ceci passera par l'étude des propriétés bio mécano physiques de prélèvements biologiques réalisés par les équipes de soins. Le développement des technologies interventionnelles et diagnostiques s'appuiera aussi sur les analyses de fiabilité, qualité et risques, des techniques et méthodes, champs applicatif encore peu développé.
- Le couplage diagnostic et thérapeutique (théranostique) des techniques, devenant un enjeu important en médecine, bénéficiera de la simulation des modèles anatomopathologiques jusqu'à celle des instruments et de leurs interactions avec le vivant (GePEB).
- L'intégration d'informations multiples architecturale et fonctionnelle sur la salle interventionnelle (bloc opératoire ou radiologie interventionnelle ; exemple dans CAVITI) pourra bénéficier de localisation et reconstruction 3D temps réel de scènes rigides à partir de systèmes mono et multi-caméras (ISPR).
- Enfin, l'approche multi échelle des technologies et thérapies guidées par l'image bénéficiera de l'étude des phénomènes biologiques à l'échelle des tissus et cellules, à partir des expertises en électromagnétisme, nanophysique, microsystèmes et (bio)procédés (GePEB, PHOTON). Il est ainsi envisagé d'étudier certaines interfaces entre sondes et tissus, comme par exemple la surface des électrodes intra cérébrales (le processus de modulation électrique ou électrochimique pouvant en fait être généralisé à tous les tissus), pour évaluer l'impact de la modification architecturale de surface par des nano-éléments (exemple par l'étude in vitro dans un biotope de substitution).

Matrice fonctionnelle et effectif scientifique

La matrice fonctionnelle de l'IP est maintenant complétée d'un 5e Axe TGI. Les actions interdisciplinaires sont conduites par les acteurs des Axes en mode projet. Un affichage par la finalité applicative a ainsi été préféré :



L'Institut Pascal constituera en 2017 une unité de 224 permanents scientifiques et administratifs, pour un ETP de 116, répartis en 9 ETP administratifs, 4 ETP de supports techniques au service collectif du laboratoire (informatique, bâtiments, hygiène et sécurité) et 103 ETP scientifiques. La distribution des 103 ETP scientifiques selon les cinq Axes disciplinaires est la suivante :



(31 ETP MMS - 15 ETP ISPR - 14 ETP GePEB - 21 ETP PHOTON - 22 ETP TGI. On notera que l'indicateur ETP sera beaucoup plus approprié dans la nouvelle configuration de l'IP, car les personnels hospitaliers effectuent une partie de leurs activités dans le cadre hospitalier)

3.2. Mise en oeuvre scientifique

La mise en oeuvre scientifique du projet de l'Institut Pascal est exposée suivant les expertises d'Axe. Les actions collaboratives inter-Axes et interdisciplinaires sont identifiées dans les Axes, et décrites à la fin de la section 3.2.

Axe Génie des Procédés, Energétique et Biosystèmes

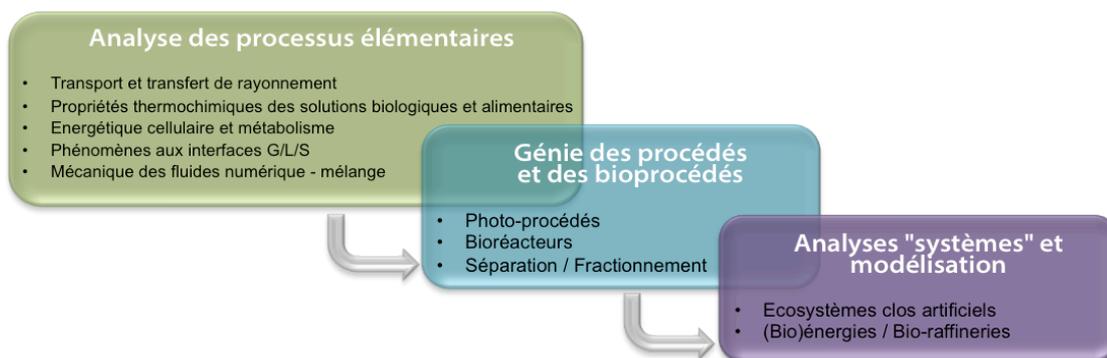
L'Axe GePEB conservera sa structuration actuelle, qui ne comporte pas de sous-équipes, avec une organisation par projet qui permet une véritable mutualisation des compétences au sein de l'Axe. La présentation des objectifs et du projet de l'Axe GePEB suivra un format différent de celui qui avait été adopté dans le contrat en cours. L'expérience et la pratique de la multidisciplinarité ont été acquises durant le contrat en cours et ont prouvé leur efficacité scientifique. En conséquence, il n'est plus recherché d'afficher les activités de l'Axe suivant un classement et une liste des applications, mais plutôt sous une forme qui reprend les *fronts de science* et les compétences scientifiques mises en jeu. La classification, qui a été choisie d'un commun accord entre les enseignants-chercheurs de l'Axe, suit aussi les niveaux d'échelle auxquels se rapportent les problématiques traitées. Les trois thèmes majeurs (ou majeures) se déclinent comme suit :

- Analyse des processus élémentaires.
- Génie des procédés et des bioprocédés.
- Analyses "système" et modélisation.

Les enseignants-chercheurs de l'Axe ne sont pas attachés spécifiquement à l'une ou l'autre de ces majeures mais ils interviendront parallèlement sur plusieurs d'entre elles. Cette structuration permettra une

présentation aisée et souple des travaux de GePEB ; elle met en avant la démarche scientifique adoptée plutôt que la diversité des sujets. Elle comporte explicitement l'identification du ou des mécanismes limitants et de leurs couplages, puis leur intégration à l'échelle du procédé pour parvenir à sa simulation et à son intensification dans un contexte global, qui est celui d'un *système*. La logique générale suit donc une analyse mécanistique fine qui vient enrichir les parties modélisation – simulation de procédés avec l'objectif d'associer les analyses systémiques. En outre, ce schéma de principe suit clairement une progression du nano- au macro-, les processus élémentaires et les mécanismes étant analysés et modélisés aux échelles les plus fines, alors que la partie "analyse système" réunit des métriques multiparamétriques d'évaluation et de modélisation d'ensembles d'opérations unitaires.

Une liste plus détaillée des sujets en cours et en projet apparaît sur la figure suivante. Elle est développée par la suite. Les différents sujets trouvent pleinement leur place dans les trois domaines applicatifs de l'Institut Pascal.



Majeure 1 : Analyse des processus élémentaires

Transport et transfert de rayonnement

Les photo-procédés sont limités par le transfert de rayonnement, ce qui signifie que leurs performances sont totalement pilotées par la distribution de la lumière dans le volume où a lieu la photo-conversion.

En ingénierie de la photosynthèse, les modèles pertinents de photo-procédés se concentrent donc sur une description fine du transfert radiatif qui est le processus élémentaire qui doit être compris et modélisé. La taille des microorganismes photosynthétiques ou des particules de photo-catalyseurs est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de la lumière. Ceci nécessite une modélisation adaptée. Celle-ci comprend deux volets :

- À petite échelle, analyse des propriétés radiatives des catalyseurs : détermination *ab initio* des propriétés optiques spectrales de particules (microorganismes, semi-conducteurs, complexes supramoléculaires, etc.) ; relations de Kramers-Krönig ; calcul prédictif des propriétés radiatives de particules micrométriques de formes complexes et calcul du champ de radiation dans des photo-anodes nano-structurées (approche électromagnétique, équations de Maxwell).
- À échelle méso, modélisation du transport de photons au sein d'un photo-(bio)réacteur ou du transport de charge dans une photo-anode : approche radiative et transport (équation de Boltzmann) ; méthode de Monte Carlo intégrale pour la résolution des échelles méso-macro (physique statistique hors d'équilibre).

Ce thème **Transport et transfert de rayonnement** est considéré comme un secteur d'excellence de l'Axe qui participe à plusieurs fédérations de recherche CNRS (dont l'Axe Photo-procédés de FédEsol, la fédération du solaire en France) et à plusieurs autres GDR sur le sujet (Bio-H2 devenu PROBBE, HySPàC, ACCORT, Solarfuels en création). Ces relations seront poursuivies et amplifiées, notamment avec les laboratoires LAPLACE et RAPSODEE dans le cadre de l'environnement de calcul EDStar. Les verrous scientifiques qui seront adressés concernent d'abord l'extension des approches développées au calcul des propriétés radiatives de particules de formes complexes, d'une part, et de particules qui ne peuvent pas être considérées comme ténues (important contraste d'indice avec le milieu environnant comme par exemple des particules de semi-conducteurs) d'autre part. La modélisation des cellules photo-électrochimiques nécessitera également de progresser sur les modèles de transport de charges à l'échelle méso et de tenter de réifier les paramètres qui découlent de cette modélisation, en lien avec la nanostructuration.

Propriétés thermochimiques des solutions biologiques et alimentaires

Les travaux sur la modélisation des propriétés d'équilibre et des propriétés thermochimiques dans les solutions biologiques et alimentaires (thermodynamique appliquée) seront maintenus et amplifiés. Aujourd'hui les modèles de type COSMO (COnductor like Screening MOdel), qui ont remplacé au laboratoire les approches par contribution de groupements chimiques, ont prouvé leur adaptabilité pour prendre en compte les phénomènes d'équilibre dans les solutions biologiques et alimentaires. L'intérêt majeur est que ce type de modélisation est prédictif, qu'il s'agisse des propriétés des corps purs ou des propriétés en solutions complexes. Un secteur d'application particulièrement prometteur concerne les produits et solutions alimentaires. Ce type de modèle est également extrapolable aux matériaux solides ou semi-solides. Ces travaux seront poursuivis suivant les cinq volets suivants :

- Modélisation des propriétés d'équilibre dans des solutions complexes : activités des ions dans les solutions électrolytiques contenant des acides forts et faibles (activité de l'eau et des solutés, pH, potentiel redox) ; activités des solutés dans des solutions mixtes contenant des mélanges d'hydrate de carbone et des sels ; applications aux produits et solutions alimentaires ; applications aux « fluides biologiques » dans le cadre par exemple d'une future collaboration avec l'Axe TGI.
- Prédiction des propriétés de formation, et par conséquent prédiction des propriétés réactionnelles : pK et potentiel d'oxydoréduction notamment.
- Modélisation et prédiction des propriétés de transport : prédiction des coefficients de diffusion et si possible des propriétés rhéologiques de solutions fluides.
- Prédiction des propriétés physiques des matériaux biosourcés.
- Extension des modèles de type COSMO pour des milieux confinés (matrices catalytiques et milieux intracellulaires) et applications à la compréhension des couplages énergétiques cellulaires.

L'ensemble de ces travaux bénéficie aujourd'hui des partenariats industriels solides (Sté ROQUETTE, PROSIM SA). L'objectif est de généraliser ces approches et de les appliquer aux cultures de microorganismes.

Énergétique cellulaire et métabolisme

La caractérisation et la modélisation de l'énergétique cellulaire sont un des points clés pour la compréhension du fonctionnement cellulaire pour les souches cultivées dans des conditions imposées et spécifiques. Ceci recouvre différentes échelles de compréhension, en particulier le calcul de flux métaboliques à partir d'une cartographie des réactions possibles et l'analyse de la topologie d'un réseau métabolique. Lorsqu'on s'intéresse au métabolisme central, ou plus exactement à la production d'intermédiaires métaboliques qui en sont issus, il est impératif de travailler au niveau le plus fin possible, qui est celui de la modélisation du fonctionnement des chaînes de transfert d'électrons et de la compréhension du fonctionnement des deux organites essentiels de l'énergétique cellulaire : le chloroplaste et la mitochondrie (ou la chaîne respiratoire). Au niveau mécanistique, la représentation concerne la modélisation des chaînes de transfert d'électrons et de leur couplage avec les gradients de pH et de potentiel redox. Pour le chloroplaste (organismes photosynthétiques), il est nécessaire de caractériser le couplage entre transfert d'électrons et phosphorylation cyclique ; pour la mitochondrie (ou la chaîne de transfert d'électrons) le couplage entre transfert d'électrons et la phosphorylation doit encore être décrit.

L'analyse de ces couplages en termes de Thermodynamique des Processus Irréversibles (TPI), est déjà appliquée pour des microorganismes aérobies et photosynthétiques "simples" ; ceci doit fournir l'approche phénoménologique adéquate permettant de caractériser les fonctionnements chloroplastique et mitochondrial pour les différents microorganismes utilisés au laboratoire. Cette étape de modélisation est essentielle puisque c'est d'elle qu'on attend la caractérisation du lien entre les pH et les potentiels redox intra-cytosolique, chloroplastique et intra-mitochondrial d'une part, la production d'ATP et des gradients de protons transmembranaires d'autre part. De même en anaérobiose, la compréhension des gradients de potentiel électrique au sein du bioréacteur, au sein de flocs bactériens ou encore au sein de la cellule doit permettre d'associer des variables de flux métaboliques avec des variables qui touchent au contrôle du procédé.

Cette étape de modélisation doit également couvrir la représentation de la cascade de potentiels redox intra-membranaires qui est le point ultime des conversions entre les différentes formes d'énergie : excitation photonique, création du gradient de potentiel redox, création du gradient de protons. La modélisation des propriétés molaires partielles des composés métaboliques joue alors un rôle clé.

L'ensemble de ces travaux qui associent au niveau métabolique des aspects bilan matière (calculs de flux métaboliques), bilans d'énergie et bilans d'exergie (ou bilans entropiques et analyse en termes de thermodynamique linéaire des processus irréversibles TLPI) concernera deux volets principaux :

- Descripteurs métaboliques et base de données métaboliques : poursuite des travaux sur la base de données BRUME développée au laboratoire ; calcul de flux métaboliques par des méthodes

matricielles et analyse topologique de réseaux réactionnels imbriqués et complexes ; résolution notamment par des méthodes utilisant la théorie des graphes.

- Analyse de l'énergétique cellulaire et représentation des couplages cinétiques et stœchiométriques : réduction des indéterminations sur les vitesses métaboliques par la TLPI ; couplages physicochimiques au niveau métabolique ; analyse des stabilités réactionnelles.

Ces travaux seront exploités en particulier pour lier les aspects protéomique et génomique au comportement d'une cellule au sein d'un bioréacteur. En termes d'applications, ils seront également exploités pour développer des modèles de compréhension et de comportement de la production des vecteurs énergétiques, généralement associés aux métabolismes centraux : hydrogène, Acides Gras Volatils, méthane, éthanol, lipides, etc.

Phénomènes aux interfaces gaz / liquide / solide

Le laboratoire a une longue expérience sur la conduite en continu des opérations d'émulsification et de foisonnement. Ces travaux ont été réalisés sur les formulations modèles et sur les recettes industrielles, notamment sur des produits alimentaires. Il s'agit d'une approche multi-échelles Formulation/Procédé/Produit. Les outils développés visent à comprendre comment et avec quelle cinétique un élément (gaz, liquide, solide) s'intègre dans un système encombré. Ensuite la problématique est de déterminer quelle est l'influence des paramètres du procédé (temps de séjour, gradient et champs de vitesse, etc.) sur le comportement de la matrice globale, et *in fine* sur les caractéristiques du produit recherché. Ces travaux ont montré que la réduction de taille et la distribution de l'objet dans la phase continue dépend des effets combinés des paramètres de formulation (propriétés rhéologiques et interfaciales) et de ceux du procédé, comme la configuration de l'agitateur, le temps de séjour et le gradient de cisaillement. Parmi ces paramètres, le tensioactif, en raison de son transfert et de sa distribution à l'interface de l'objet, joue un rôle clé dans le mécanisme de rupture.

Or les paramètres caractéristiques de ces phénomènes (nombres de Peclet et de Biot massiques) ne sont pas mesurables expérimentalement. Pour le prochain contrat, le laboratoire a deux objectifs :

- développer un outil expérimental performant pour obtenir l'image de la déformation d'objet (gaz ou liquide) dans un milieu continu sous contrainte de cisaillement. Pour cette approche une collaboration avec l'équipe d'ISPR de l'IP est déjà engagée, l'objectif étant de reconstituer numériquement l'image en 2D ou 3D de l'objet déformé ;
- d'associer l'approche expérimentale précédente à une modélisation par bilan sur le transfert et la distribution du tensioactif à l'interface de l'objet déformé sous contrainte de cisaillement. Il s'agit de déterminer par identification les paramètres tels que le coefficient de diffusion convectif et le coefficient de partage lors du transfert d'un tensioactif vers l'interface.

Cette approche ouvrira une nouvelle voie pour élucider les comportements des tensioactifs à l'approche des interfaces et contribuera à mieux comprendre les mécanismes de rupture dans des opérations du type émulsification et foisonnement.

Mécanique des fluides numérique (CFD), mélange et phénomènes de transfert

Si l'interaction entre les microorganismes et leur environnement au sein d'un bioréacteur a été abordée précédemment du point de vue du transfert radiatif et de la physicochimie (gradients de pH et de potentiel redox), un verrou scientifique concerne le couplage entre les cinétiques biologiques et l'hydrodynamique à l'échelle locale au sein des bioréacteurs ; l'intensité du mélange régit la cinétique d'évolution de l'environnement du microorganisme, donc les échanges intra-/extracellulaires, de même qu'elle gouverne les échanges entre phases à l'échelle du réacteur (comme le transfert de matière gaz-liquide dans le cas d'un réacteur aéré ou en désorption dans le cas d'un gaz produit comme l'hydrogène). De plus, l'hydrodynamique détermine localement le niveau de stress mécanique subi par les microorganismes, ce qui peut affecter leur productivité.

Alors que la mécanique des fluides numérique (CFD : Computational Fluid Dynamics) s'est progressivement imposée comme un outil prédictif de choix pour quantifier à la fois pour les contraintes mécaniques et la qualité du mélange distributif, elle demeure un outil complexe à mettre en œuvre et coûteux en temps de calcul. De plus, cet outil reste perfectible et nécessite encore une validation expérimentale pour les systèmes bi- ou triphasiques mis en jeu au sein des bioréacteurs, par exemple en présence d'un substrat solide et d'une phase gaz dispersée lorsqu'il s'agit de prédire les hétérogénéités spatiales et la distribution hétérogène des phases en présence. Enfin, le couplage entre hydrodynamique et processus biologiques à l'échelle microscopique au sein des modèles actuels reste encore inachevé, en particulier lorsqu'il dépend fortement des équilibres acido-basiques, notamment à cause de l'incompatibilité entre les constantes de temps de ces équilibres (10^{-7} - 10^{-8} s), les pas de temps caractéristiques des codes de calcul d'une

hydrodynamique instationnaire (10^{-4} - 10^{-5} s) et les temps de rétention hydrauliques des fermenteurs (de quelques heures à plusieurs jours).

Introduite depuis 2012 au sein de l'Axe dans le cadre du Défi 3 du LabEx IMobS3, la stratégie de modélisation multi-échelles, fondée d'une part sur le couplage entre la CFD et les mesures locales, et d'autre part sur l'utilisation de modèles cinétiques dans le cadre de modèles de zones décrivant les expériences de fermentation à une échelle minimale de 5 L, sera poursuivie et amplifiée. La poursuite des activités en cours concerne en particulier :

- la finalisation de la mise au point d'une méthode de trajectographie optique multi-objets en collaboration avec l'Axe ISPR débutée en 2014 afin de pouvoir, soit obtenir les champs de vitesse du fluide en description lagrangienne dans le cas d'objets de densité identique à celle du liquide, soit les trajectoires de substrats solides de densité différente du liquide ;
- plus globalement, l'amélioration des techniques de mesure du mélange distributif et dispersif, ainsi que du transfert de masse au moyen de méthodes locales ou de méthodes de visualisation afin de valider l'approche CFD en termes de prédiction du mélange et du transfert de masse ;
- l'implémentation de modèles cinétiques classiques (comme par exemple le modèle de digestion anaérobie ADM1) dans le cadre de modèles de zones généralisés côté fermenteur ;
- l'application de ces résultats à la production d'hydrogène par fermentation sombre pour laquelle les enjeux liés à l'obtention de modèles robustes sont critiques puisque des phénomènes comme la diminution des productivités à vitesse d'agitation croissance restent encore mal compris et ne sont pas prédits par les modèles actuels.

Les perspectives incluent :

- la réconciliation entre les modèles de zone et la CFD, par exemple par l'implémentation de modèles cinétiques simplifiés au sein des codes de CFD susceptibles de prédire les gradients de concentrations et de pH, ainsi que par l'établissement d'une méthode rationnelle de définition des modèles de zones à partir des données prédites par CFD ;
- la mise au point d'une méthode de mesure simplifiée dérivant de la PIV (vélocimétrie par images de particules) pour les vitesses faibles (< 1 m/s) afin de pouvoir mesurer les champs de vitesse eulérienne dans les fermenteurs et d'étendre la gamme des techniques disponibles pour valider les simulations ;
- l'établissement d'une méthode robuste de simulation des fermenteurs en anaérobiose dédiés à la production d'hydrogène et prenant en compte le couplage hydrodynamique-transfert-réactions en lien avec le LabEx IMobS3.

A terme, les objectifs en termes d'applications incluent une extension de cette méthodologie à d'autres types de fermentations.

Majeure 2 : Génie des procédés et des bioprocédés

Photo-procédés

Si l'on veut produire des vecteurs énergétiques que l'on peut stocker (biomasse, biofuel, hydrogène, gaz de synthèse, éthanol, etc.) et en même temps disposer de molécules plateformes pour réinventer la chimie verte de demain, il faut impérativement passer par la photosynthèse. Seule la photosynthèse naturelle (on cultive des micro-algues, source de molécules d'intérêt qui sont séparées dans des bio-raffineries) ou la photosynthèse artificielle (on utilise des catalyseurs synthétiques pour fabriquer à partir d'eau et de CO_2 des vecteurs énergétiques comme l'hydrogène ou le méthanol) peuvent répondre à la double problématique énergétique et chimique.

Le développement de procédés industriels propres, sûrs et efficaces en ingénierie de la photosynthèse se heurte à deux verrous scientifiques et techniques particulièrement difficiles :

- un verrou fondamental relevant de la biologie et de la chimie : amélioration des souches de micro-algues pour la photosynthèse naturelle et développement de nouveaux catalyseurs pour la photosynthèse artificielle ;
- un verrou plus appliqué, relevant des sciences pour l'ingénieur et de la physique, sur la conception, l'optimisation et l'automatisation des photo-procédés dans lesquels il est possible de mettre en œuvre ces transformations biologiques ou chimiques.

Cette science des photo-procédés, ou génie des systèmes photo-réactifs, est commune à tous les procédés de photosynthèse naturelle ou artificielle et débouche sur des objets technologiques nommés photo-

bioréacteurs, photo-réacteurs ou cellules photo-électrochimiques. Ces procédés doivent être conçus, améliorés puis développés à grande échelle de façon à obtenir :

- des performances volumiques maximales garantissant un faible coût énergétique de fonctionnement et une faible empreinte écologique ;
- des performances surfaciques élevées garantissant un plus faible encombrement au sol, la cible en solaire se situant au moins à 10% d'efficacité thermodynamique de conversion.

Ce thème de recherche a conduit dans les périodes précédentes à introduire le concept DiCoFluV de photo-bioréacteur à **D**ilution **C**ontrôlée du **F**lux en **V**olume qui a été conçu pour atteindre l'efficacité maximale de la photosynthèse naturelle. Ces travaux seront poursuivis, notamment dans le cadre du LabEx IMobS3, avec la mise en place d'un lieu d'expérimentation en conditions solaires réelles (Plateforme PAVIN Solaire pour la production de biocarburants et de carburants solaires) où l'on pourra prouver que l'on approche les performances théoriquement calculées par les modèles. De même, le concept d'hybridation par séparation spectrale sous flux solaire concentré, qui fait l'objet aujourd'hui d'une enveloppe Soleau, sera traduit en démonstrateur à petite échelle qui pourra être testé et validé sur cette plateforme solaire. Ce stade de démonstration et de validation est obligatoire avant que des industriels puissent s'intéresser aux concepts développés et prennent le relai dans le cadre du transfert de technologie.

Ce sujet s'inscrit parfaitement dans les axes de recherche de l'UE à travers le défi "Énergies sûres, propres et efficaces". En plus des relations historiques avec l'ESA pour le développement de photo-réacteurs, l'Axe GePEB cherchera à conforter ses relations en France (notamment avec les laboratoires GEPEA et PROMES qui sont des partenaires actifs sur ces sujets) et à l'étranger.

Bioréacteurs

Ce thème s'intéresse au développement de méthodes et d'outils adaptés au génie des bioréacteurs en prenant en compte la majeure précédente "Analyse des processus élémentaires", c'est-à-dire les spécificités des microorganismes (ou enzymes), l'importance des couplages entre phénomènes physiques et réponses métaboliques, l'hétérogénéité des milieux et la maîtrise des cinétiques de transfert physiques. Une attention particulière sera portée aux aspects "agitation / micro- et macro-mélange" qui sont des déterminants importants, notamment en anaérobiose, pour la compréhension du fonctionnement des métabolismes oxydoréductifs.

Ce thème *bioréacteurs* inclut également la prise en compte les étapes de prétraitement des substrats et/ou de séparation des produits, c'est-à-dire les séparations incorporées au bioréacteur lui-même (procédés à membrane immergée par exemple ou cultures biphasiques avec extraction liquide-liquide *in situ*). Il est en effet complètement nécessaire de prendre en compte dès le départ l'élimination des inhibiteurs, le prétraitement des substrats et la récupération des produits. Ce thème concerne donc le bioréacteur dans son ensemble, en incluant la caractérisation et le contrôle de la nature et de la concentration des substrats et des produits. Plus en détail, ce thème concernera les applications suivantes :

- La production de poly- et oligosaccharides issus de la bioconversion du CO₂ (cultures photosynthétiques, plantes supérieures et macro-algues) en incluant la partie caractérisation et séparation. Ce volet "procédés d'obtention de poly- et oligosaccharides à activités biologiques et techno-fonctionnelles" sera également poursuivi en développant des réacteurs enzymatiques à enzymes immobilisées afin de générer des mélanges d'oligomères de dp ciblés. Les poly- et oligosaccharides issus de ces travaux seront criblés pour des activités biologiques (notamment par transcriptomique) et techno-fonctionnelles (rhéologie) avec pour objectif d'établir des relations structures-fonctions. Ils seront par la suite modifiés chimiquement ou biochimiquement (alkylations, sulfatation, phosphorylation) afin de potentialiser leurs activités.
- L'utilisation de cultures mixtes microbiennes pour produire en anaérobiose de l'hydrogène et des acides gras volatils, notamment à partir de sources organiques complexes comme les résidus agricoles. La valorisation des deux familles de composés selon une démarche de type bio-raffinerie impliquant des bioréacteurs à membranes immergées (BAMI) est une partie intégrante de ce volet. La caractérisation fine du comportement des BAMI, en particulier au niveau écoulement fluidique (modélisation CFD) constitue une approche privilégiée dans ce domaine.
- La production de lipides microbiens, notamment par cultures de levures oléagineuses, afin de parvenir à minimiser les coûts de séparation et développer des procédés de production et de valorisation de molécules plateformes à un coût minimal.
- La caractérisation, la modélisation et l'optimisation de bioréacteurs à lit fixe pour traiter, notamment pour des applications nitrification / dénitrification, une biomasse fixée en situation de bio-catalyseur.
- Les fermentations sur substrats solides, en particulier la production de spores fongiques en vue de leur utilisation comme biocatalyseurs.

- Les bioconversions de composés hydrophobes en milieu biphasique (eau/solvant organique), en particulier dans un contexte de bioremédiation des eaux et des sols.
- Le développement de méthodes de suivi et de contrôle du potentiel redox en bioréacteur, ceci en lien avec la partie "propriétés thermochimiques".

Enfin pour des aspects qui touchent au contrôle et au suivi des cultures microbiennes, l'Axe GePEB restera pleinement acteur avec les autres axes de l'Institut Pascal sur les actions interdisciplinaires "Innovations dans les bioprocédés".

Sur l'ensemble de ces sujets, dont la plupart sont actifs à l'heure actuelle, l'Axe GePEB a des contacts académiques et industriels locaux et nationaux qui seront maintenus et développés, en particulier dans le cadre du GDR Ingénierie des biosystèmes.

Systèmes & Micro-Systèmes Capteurs : Métrologie pour Bioréacteurs

Action inter-Axes : GePEB et PHOTON/MINAMAT

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

Fonctionnalisation de nanofils ultra-longs : nouvelle génération de nano-capteurs pour la bioélectronique

Action inter-Axes : GePEB et PHOTON/MINAMAT

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

Séparations / Fractionnement

L'objectif concerne la mise au point de procédés de concentration, d'extraction et de purification de macromolécules hydrosolubles (bio-polymères, polysaccharides ou protéines) afin de les valoriser en tant qu'actifs biologiques ou de molécules techno-fonctionnelles. Les produits sont issus de biomasses végétales, algales, microbiennes ou animales d'origines diverses. Leur utilisation pose toutefois un certain nombre de contraintes avant d'envisager leur utilisation à l'échelle industrielle. On les catégorise dans l'une des quatre classes applicatives suivantes :

- Ingrédient nutritionnel ;
- Ingrédient organoleptique ;
- Agent techno-fonctionnel ;
- Agent biologique.

La caractérisation de ces produits fait appel à la mise en œuvre d'outils analytiques dédiés aux caractérisations structurales (RMN ^1H et ^{13}C , HPLC, HPAEC, FTIR, GC-MS, LC-MS, électrophorèse 1D et 2D) et à la caractérisation des propriétés physicochimiques (rhéologie, mesure de la tension de surface, SEC-MALLS, DLC, DMA). Elle constitue un préambule indispensable à la conception de procédés d'extraction et de purification. Il faut, de plus, respecter des conditions compatibles avec le milieu dans lequel le composé sera utilisé (pH, force ionique, température, association possible avec les autres composés du milieu et contraintes liées au procédé de fabrication, etc.). Le laboratoire a développé deux approches pour parvenir à l'extraction et la purification de ces macromolécules complexes :

- La première consiste à utiliser des techniques de séparation par membrane qui permettent la classification des particules ou des macromolécules en fonction de leur taille. Il s'agit d'associer la microfiltration tangentielle à l'ultrafiltration ou à la nano-filtration tangentielle.
- Lorsque les techniques précédentes de séparation par membrane ne sont pas adaptées (effluents liquides riches en matières grasses ou rhéologie des solutions à traiter), des techniques alternatives basées sur la récolte par électrocoagulation ou sur la précipitation sélective des macromolécules d'intérêt (précipitation au point isoélectrique des protéines ou par changement de polarité du milieu pour les polysaccharides) sont mises en œuvre. Quel que soit le mode de concentration (technique membranaire ou voie physicochimique) les produits pourront être séchés par atomisation ou lyophilisation. Ils font ensuite l'objet de caractérisations fonctionnelle et biologiques.

L'Axe GePEB poursuivra ces travaux sur un plan expérimental et mécanistique. Ces activités sont très soutenues à l'heure actuelle (programmes ANR Demether, Algoraffineries, Supobee, projet ADEME Alg-I-Gaz, FUI Valeco, pôles de compétitivité Céréales Vallée et Viameca, PHC Tassili, ADIV). Elles concernent des macromolécules issues de biomasses végétales (micro-algues, macro-algues, plantes terrestres endémiques ou issues de grandes cultures, sous-produits agronomiques, etc.) ou animales (effluents des industries de la viande) avec toujours la volonté de mise en œuvre finale dans les filières matériaux biosourcés, adhésifs, actifs biologiques, texturants, additifs nutritionnels et énergie. L'objectif est de valider des protocoles de

traitement (extraction / séparation / purification), de comprendre leur fonctionnement, de les modéliser et d'analyser les possibilités d'extrapolation à l'échelle industrielle.

Parallèlement à la poursuite de ces activités, des travaux plus exploratoires seront entrepris. Ils viseront à développer des modèles d'agro-matériaux bio-inspirés de parois cellulaires végétales, en valorisant des sous-produits agricoles tels que les sons de blé et les liqueurs noires. Le contexte régional s'y prête (implantation d'industries céréalières en Limagne fédérées au sein du pôle de compétitivité Céréales Vallée et valorisation des ressources forestières à des fins Bioénergies). Ces travaux auront pour objectif le fractionnement des sous-produits agro-industriels, l'identification de fractions candidates et leur assemblage par des méthodologies de chimie verte pour l'obtention de matériaux proches des parois pecto-cellulosiques de plantes (perméabilité sélective, résistance mécanique).

Majeure 3 : Analyses systèmes et modélisation

Écosystèmes clos artificiels

La participation des EC de l'Axe GePEB au programme MELISSA (Micro-Ecological Life Support Alternative) a eu un effet très structurant et générateur de sujets d'avant-garde. À titre d'exemple, les développements sur les photo-bioréacteurs sont issus de cette collaboration démarrée dans les années 1990. Au sein du consortium européen de recherche MELISSA, l'Axe GePEB a toujours promu une approche de type "chemical engineering" avec une modélisation des opérations unitaires par des modèles structurés, modélisation associée à une vision *système*, qui inclut les travaux sur le contrôle prédictif de l'opération. Cette approche a été développée tout d'abord à partir des bilans matière sur le système en considérant les caractéristiques cinétiques de opérations. C'est aujourd'hui une vision qui est pleinement assumée et reconnue par l'ensemble des partenaires du consortium MELISSA.

L'Axe GePEB maintiendra bien entendu son implication au niveau Européen dans le développement de systèmes de support-vie. Ceci génère un ensemble de travaux parfaitement cohérents avec les problématiques de durabilité et de minimalisation des empreintes écologiques des transformations industrielles et agricoles. L'approche générique qui a été défendue depuis le début du programme MELISSA (programme qui vient de célébrer ses 25 ans) permet aujourd'hui de construire des sous-ensembles de la boucle complète MELISSA. Par exemple, le système BIORAT consiste à coupler un compartiment consommateur « habité par des rats » et une boucle de recyclage du gaz (production de l'oxygène et fixation du CO₂ dans un compartiment photosynthétique). Ce système fonctionne avec un tampon matière minimal. En juin 2015, le test de longue durée de plusieurs mois au MELISSA Pilot Plant (MPP), constitue une performance en termes de contrôle et de compréhension du système dans son ensemble ; ceci n'est possible qu'avec une partie contrôle qui soit associée à un modèle de connaissance du photo-bioréacteur. Ce système réduit biorégénératif doit également faire l'objet d'expériences de vol (expériences spatialisées) qui viennent d'être acceptées dans le programme ELIPS (**E**uropean programme for **L**ife and **P**hysical sciences in **S**pace and applications utilising the International Space Station). L'Axe GePEB sera bien entendu impliqué dans ces expériences, avec la charge des parties modèle et analyse système.

De même, le développement du centre de recherche européen (MPP) à l'Université Autonome de Barcelone, restera au centre des activités de GePEB, en particulier sur les aspects ingénierie, intégration et modélisation des compartiments et de l'ensemble de la boucle.

Dans le prolongement de ce qui a été fait pour la modélisation de tous les compartiments microbiens de la boucle MELISSA, des moyens scientifiques seront investis pour développer une modélisation structurée de la croissance végétale dans les enceintes de culture de plantes supérieures (modélisation discrète et séquencée suivant une approche L-system). Cet aspect est au centre d'une collaboration nouvelle avec le CNES. C'est un sujet pour lequel l'approche cinétique classique de génie microbiologique n'est plus efficace. Des collaborations spécifiques avec les universités de Ghent et la Société EngineSoft sont établies.

Globalement les collaborations de l'Axe sur ce sujet Écosystèmes clos biorégénératifs et les contrats de recherche au niveau européen sont aujourd'hui très actifs. Le positionnement dans un cadre H2020 est également envisagé pour des appels de type space research.

Plus généralement, il est aujourd'hui reconnu et prouvé que le traitement et les choix de stratégie scientifique faits à l'origine par le consortium MELISSA sont pleinement adaptés pour traiter de problématiques beaucoup plus larges que le thème Écosystèmes clos artificiels biorégénératifs. Ceci couvre des analyses sur la durabilité, la fiabilité et la sécurité des systèmes ainsi que sur leur empreinte écologique. Ces problématiques se rapprochent du domaine de l'écologie industrielle. L'Axe GePEB, qui a toujours défendu cette approche rationnelle, conduisant à des designs optimaux, restera évidemment pleinement investi sur ces questions.

Bioénergies / Bio-raffineries

Dans le cadre du LabEx IMobS3, l'Axe GePEB a développé des sujets de recherche sur la production de vecteurs énergétiques renouvelables. Cette problématique englobe également la production de molécules biosourcées et de molécules plateformes, ces dernières devant remplacer progressivement les dérivés du pétrole. Tous les procédés étudiés mettent en œuvre une étape photosynthétique (cultures de plantes supérieures, cultures de micro-algues) qui réduit le CO₂ en molécules organiques complexes et des étapes de séparation / transformation / purification à partir de la ressource végétale ou algale récoltée.

Il est aujourd'hui prouvé que la compétitivité économique de ces procédés dépend, non seulement de la capacité à séparer et purifier les vecteurs énergétiques, mais aussi de la valorisation de certaines fractions végétales ou microbiennes à forte valeur ajoutée. L'étude d'un procédé particulier de production d'un vecteur énergétique ou d'une molécule plateforme doit donc être réalisée dans un contexte d'évaluation globale en prenant en compte la valorisation des coproduits. Il s'agit à la fois d'une évaluation économique mais aussi d'une évaluation en termes de bilans matière, énergie et exergie. C'est sur ce dernier point que porte l'expertise du laboratoire.

Pour cette raison, les travaux de l'Axe GePEB sur les aspects Bioénergies ont été très vite associés aux aspects Bio-raffineries, qui sont indissociables dans le cadre d'une évaluation globale. L'objectif est de développer des travaux, d'une part sur certaines opérations unitaires (sur les thématiques évoquées précédemment dans la majeure Génie des procédés et des bioprocédés) et, d'autre part, d'être en mesure d'intégrer cette connaissance des opérations unitaires dans des visions *systèmes*.

L'Axe GePEB cherchera à mettre en place une *métrique* satisfaisante pour évaluer différents scénarios ; les travaux porteront sur plusieurs sujets :

- Prétraitement des intrants : l'étape importante est le traitement primaire. Deux voies principales de dégradation de la ressource végétale et de production des synthons organiques (dont l'éthanol) sont en compétition : la voie thermochimique et la voie biochimique. La voie thermochimique, moins sensible que la seconde à la nature de la ressource végétale, ce qui est un avantage, peut prendre 3 formes : la combustion, la pyrolyse et gazéification et le traitement hydrothermal. La voie biochimique, c'est-à-dire la bioconversion des lignocelluloses nécessite plusieurs étapes séquentielles : (i) le prétraitement de la biomasse par la délignification qui permet la libération de la cellulose et de l'hémicellulose, (ii) la saccharification par dépolymérisation des polysaccharides en hexoses et pentoses libres. Ces deux voies seront analysées, comparées et évaluées sur la base d'informations expérimentales propres au laboratoire et à ses partenaires étrangers.
- Bio-raffinerie de plantes supérieures (pailles, bois) ou de déchets végétaux. La déconstruction thermochimique met généralement en œuvre des procédés relativement puissants qui conduisent à des produits *ultimes* (syngaz, méthane, H₂, CO₂, NO_x, etc.) qui sont ensuite utilisés, soit directement en tant que vecteurs énergétiques, soit en tant que briques élémentaires de synthèse d'autres molécules plateformes (éthanol, AGV, etc.). L'identification de procédés, y compris les séparations préalables à la déconstruction de composés d'intérêt à haute valeur ajoutée, sera envisagée (production de pigments, acides gras polyinsaturés, enzymes, polysaccharides bioactifs, peptides, etc.). Une attention particulière sera portée à la valorisation de la lignine.
- Bio-raffinerie de micro-algues. L'objectif sera la déconstruction contrôlée de différentes espèces de micro-algues au travers d'une approche intégrée des opérations unitaires, visant à tirer parti de l'ensemble de la biomasse (triacylglycérol, phospholipides, pigments, protéines, pigments et polysaccharides). Le principal verrou réside dans la faible stabilité microbienne des pâtes de micro-algues, leur teneur en eau et la nécessité de s'affranchir des barrières physiques (organites, parois) lors de la déconstruction. De même, les procédés mis en œuvre pour des extractions sélectives de la fraction lipidique et des autres fractions polaires devront être compatibles.

Les aspects qui seront spécifiquement examinés concernent :

- D'une part, les impacts environnementaux : il s'agit des problématiques de bilan matière avec l'analyse du cycle carbone, tout autant que des cycles azote, phosphore et sels minéraux ; la consommation de la ressource en eau est un aspect qui devra être considéré. De ce point de vue, le principe de la méthode et la métrique à développer sont très similaires à ceux utilisés pour les systèmes de support-vie.
- D'autre part, les aspects énergétiques : ceci inclut l'aspect production des vecteurs énergétiques et les nécessités liées à leur stockage et à leur transport. Ces paramètres seront intégrés à l'évaluation globale de différents scénarios.
- Par ailleurs, sur la base de l'évaluation exergétique de chacune des opérations unitaires constituant un procédé, les rendements et les efficacités thermodynamiques seront estimés.

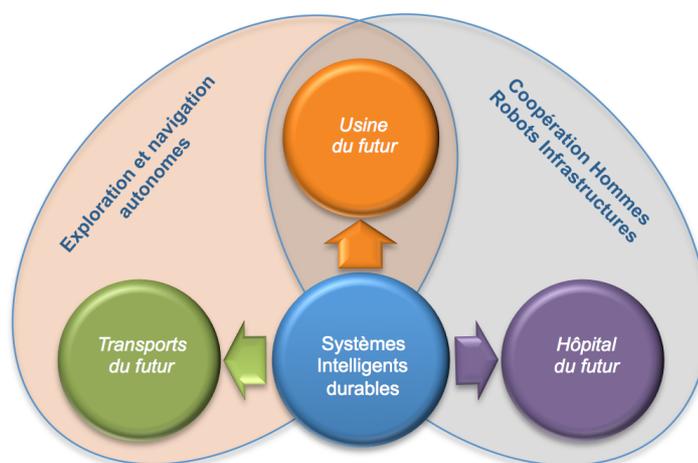
- Enfin, les traitements / stockages / valorisations des coproduits, sont des déterminants essentiels pour l'évaluation globale et devront, de ce fait, être intégrés aux analyses globales.

L'Axe GePEB dispose donc des compétences, de l'expérience et des outils pour aborder ces sujets de façon systématique. Les contacts et les contrats en cours, notamment dans le cadre du LabEx IMob53 et/ou dans le cadre du développement d'une filière éthanol / bois à partir de la ressource forestière locale, ont permis de démarrer ces sujets. De même, les filières de production de méthane, d'hydrogène ou de lipides doivent entrer dans ce type d'évaluation globale.

Axe Image, Systèmes de perception, Robotique

L'Axe ISPR poursuivra ses travaux autour de la robotique dans des environnements dynamiques denses et incertains. Il adressera plus spécifiquement deux challenges qui s'articulent naturellement avec les trois domaines scientifiques définis par l'Institut Pascal :

- Exploration et navigation autonomes.
- Coopération Hommes Robots Infrastructures.



Le premier challenge s'inscrit dans la continuité de nos travaux dans le domaine de la robotique mobile. Il s'agira de développer des briques scientifiques permettant à un robot mobile terrestre d'évoluer de manière autonome dans des environnements à dynamique dense⁵ et incertaine.

Plusieurs types de dynamiques sont à envisager selon les contextes applicatifs. L'environnement urbain implique que les robots mobiles évoluent en milieu extérieur avec des piétons, des congénères, des véhicules classiques, en respectant la signalisation routière (*Transports du futur*). L'environnement naturel (agricole) nécessite la prise en compte des conditions d'adhérence et du profil du sol afin de garantir la traversabilité d'une zone et l'intégrité des robots mobiles. Enfin le milieu industriel reprend des problématiques similaires mais en milieu intérieur (*Usine du futur*). Pour chacun des cas, les robots mobiles mettent en œuvre des systèmes de perception de l'environnement sophistiqués, des systèmes de localisation précis et intègrent ainsi que des lois de contrôle/commande précises. Ils utilisent et doivent mettre en œuvre des cartes de leur environnement. Les travaux prendront en compte également l'évolution de ces robots en flotte de robots coopérants et communicants.

Le second challenge consiste à poursuivre l'étude des robots manipulateurs et mobiles, et plus particulièrement leur interaction avec leur environnement de travail, et leur coopération (robot/robot et homme/robot). Le contexte général est celui de la montée en puissance de nouvelles générations de robots industriels (*Usine du futur*), tels qu'attestés par l'énoncé en France du Plan pour le Renouveau Industriel et par les orientations affichées au niveau européen dans le programme Horizon2020 (*Robotic Strategic Research Agenda*). L'objectif est de développer des systèmes robotisés autonomes coopérant potentiellement avec les hommes. Les méthodes développées s'appliqueront aux domaines de la robotique médicale (*Hôpital du futur*) et de la robotique agricole en collaboration avec IRSTEA. Dans ce contexte général, nous souhaitons nous intéresser plus particulièrement au développement d'assistants robotiques pour des tâches de manipulation collaborative robot-robot et humain-robot.

⁵ dense dans le sens où le nombre d'objets mobiles est élevé

Ces deux challenges s'appuieront sur l'écosystème clermontois à travers le LabEx IMobS3 (2012-2019) et le Défi "Véhicules et Systèmes Intelligents", le CPER Région Auvergne (2014-2020) à travers le projet MMaSyF : Mobilités – Matériaux et Systèmes du Futur, la construction du laboratoire partagé (septembre 2015) avec la Manufacture Française de Pneumatiques Michelin à travers les thèmes scientifiques "Cobotique" et "Transitique Autonome" et la candidature de site au PIA2 I-SITE Clermont Auvergne CAP2025 à travers l'Axe SPI² "Sciences pour l'Ingénieur au service des Systèmes Performants et Intelligents".

ComSee – Computers That See

Le thème scientifique ComSee contribue à ces deux challenges sur les aspects perception et plus précisément en proposant des contributions méthodologiques en vision géométrique et interprétation de scènes. Les travaux de perception à base de systèmes de caméras sont présents et alimentent les trois domaines stratégiques affichés par l'Institut Pascal.

Vision Géométrique

- SLAM Visuel

Les travaux sur le SLAM visuel ont porté jusqu'à présent sur la reconstruction du mouvement de la caméra et d'une scène fixe. Afin d'aller plus loin, il est possible de prendre en compte l'aspect dynamique de la scène et ce, de deux manières. D'une part, il est possible d'utiliser les images pour détecter des objets mobiles et dans le cas d'objets rigides calculer des informations supplémentaires (vitesse, structure 3D, ...). D'autre part, il est intéressant de prendre en compte les évolutions lentes de la scène fixe (par exemple lors de travaux dans un contexte urbain) et de mettre à jour de manière automatique les cartes d'amers visuels reconstruits. Les techniques de localisation précise, temps réel et multi-capteurs seront étendues à d'autres applicatifs tels que la réalité augmentée.

- Modélisation de systèmes de perception

Les travaux devraient s'orienter vers la capitalisation des résultats obtenus ces dernières années sur la modélisation de capteurs non classiques tels que les caméras "rolling shutter", les caméras CMOS à Région d'intérêt dynamiquement reconfigurable ou les capteurs linéaires rotatifs dans le cadre d'applications en robotique mobile afin d'améliorer la rapidité et la précision de la localisation et de la cartographie 3D. L'utilisation de caméras rapides, multiples et non synchronisées sera notamment abordée. Un autre volet portera également sur les capteurs associant vision et mesure de profondeur. On citera par exemple les systèmes Procam pour les applications en milieu intérieur et les systèmes caméra/radar hyperfréquences pour les applications en environnement extérieur de grande dimension. Nous nous intéressons également aux caméras plénoptiques. L'idée de capturer une information visuelle plus riche, en échantillonnant plusieurs dimensions de la fonction plénoptique à l'aide de multiples lentilles, a connu un regain d'intérêt récemment avec l'arrivée sur le marché de capteurs plénoptiques. La géométrie de ces capteurs permet ainsi en une seule prise de capturer une scène depuis de multiples points de vue, et donc d'accéder à une information de profondeur de manière passive. Une thèse a été engagée fin 2014 pour explorer les apports de ce type de capteur notamment dans des applications de SLAM visuel.

Nous proposons des méthodes d'auto-calibrage pour une multi-caméra composée de plusieurs caméras grand public fixées sur un casque. Ceci serait utile en pratique car la multi-caméra à un meilleur compromis qualité d'images/coût que celles actuellement utilisées. Il faut non seulement recalibrer les différentes caméras mais aussi les synchroniser.

- Reconstruction 3D

Nous souhaitons contribuer à l'amélioration de la qualité et de la vitesse pour les calculs de surface tout en restant dans le cadre épar (au moins dans un premier temps), aussi bien pour les approches progressives que non progressives. Une piste serait de proposer une théorie sur la convergence et la complexité de l'approche combinant les contraintes de 2-variété et visibilité.

Interprétation de scènes

- Apprentissage

Si l'apprentissage supervisé atteint aujourd'hui de bonnes performances sur des catégories d'objets largement représentées, son application reste limitée par le besoin de données étiquetées dont l'obtention est parfois difficile ou coûteuse. Plusieurs approches sont considérées pour remédier à ce problème. Lorsque des apprentissages précédents existent, le transfert d'apprentissage permet d'utiliser les connaissances apprises sur une base pour les adapter à un domaine d'intérêt dont les statistiques sont différentes. C'est par exemple le cas lorsque l'on souhaite transférer l'apprentissage réalisé par des images statiques à un algorithme intégrant plusieurs images successives d'une séquence vidéo. C'est également le cas lorsque l'on souhaite étendre la connaissance d'une base d'images statiques à un capteur plénoptique qui encode des informations de profondeur.

Dans le cas d'un système de perception mobile, ou d'un robot, les statistiques visuelles de la scène ou le comportement du système lui-même (suite à un dérèglement mécanique ou un choc par exemple) peuvent évoluer. Dans ce contexte le système doit pouvoir apprendre par lui-même sans exemple de supervision. Un apprentissage par renforcement pourra alors être considéré. Dans cette optique des travaux vont être lancés à la fin de l'année pour étudier l'apprentissage conjoint de boucles de perception active.

Les réseaux de neurones (CNN : *Convolutional Neural Networks, deep learning,...*) sont désormais largement utilisés en raison de leurs propriétés d'applications à des problèmes de classification, de prédiction, de diagnostic,... C'est un outil que nous allons intégrer de manière forte dans nos recherches.

- Traitement d'images

Inter-Axes : ISPR/COMSEE et TGI

Des travaux en lien avec le nouvel Axe TGI seront développés. A titre d'exemple, la taille d'un polype peut être difficile à évaluer à l'œil nu à partir des images monoculaires du coloscope. L'Institut Pascal a mis au point en collaboration avec l'équipe ALCoV de l'ISIT un logiciel permettant au médecin de mesurer en 3D la taille et l'aire des polypes interactivement (Chadebecq et al, MIA 2015). Ce logiciel est basé sur une reconstruction 3D simplifiée estimée en utilisant le flou engendré par le déplacement de l'endoscope sur une trajectoire approximativement rectiligne. Cette contrainte sur le déplacement rend l'utilisation du logiciel parfois difficile. Nous souhaitons travailler sur une nouvelle approche qui exploitera le flou sans toutefois nécessiter un déplacement particulier du coloscope. L'idée est d'exploiter la fonction dual-focus présente sur de nombreux coloscopes. Cette fonction permet de changer la configuration optique du coloscope, qui dispose alors non pas d'une, mais de deux configurations optiques fixes. A partir d'une image d'un polype capturé dans ces deux configurations, nous pensons pouvoir montrer qu'une reconstruction 3D peut être calculée à une échelle métrique. De plus et en complément, une acquisition multimodale sera également possible avec ces endoscopes (lumière blanche et/ou imagerie à bande étroite - NBI). Cette acquisition supplémentaire doit permettre d'améliorer la précision de la reconstruction.

- Vision pour la physique

Inter-Axes : ISPR/COMSEE et GePEB, MMS, PHOTON

Des travaux ont récemment débuté sur le thème de la vision pour la physique. L'objectif est d'apporter de nouveaux outils d'analyse d'images pour la caractérisation de phénomènes physiques à différentes échelles. C'est un champ d'application de la vision qui prend de l'ampleur. En particulier certaines modalités d'imagerie nécessitent des méthodes de segmentation au niveau de l'état de l'art. C'est une recherche structurante pour l'IP (coopérations effectives ISPR/GePEB et ISPR/MMS).

MACCS - Modeling, Autonomy and Control in Complex Systems

L'objectif du thème scientifique MACCS est *la maîtrise de la complexité dans les systèmes robotiques, que celle-ci soit introduite par les capteurs utilisés, les spécificités de la structure mécanique du système, les incertitudes liées à l'environnement, ou encore la nature des tâches à effectuer*. Le cœur scientifique de MACCS s'appuie essentiellement sur des activités de modélisation, perception et commande de ces systèmes robotiques complexes afin d'augmenter leur autonomie et leur adaptabilité aux tâches à réaliser en fonction des environnements statiques et/ou dynamiques rencontrés. Les perspectives scientifiques de la thématique se déclinent en 2 activités s'inscrivant dans les deux challenges de l'Axe ISPR (Exploration et navigation autonomes et Coopération Hommes Robots Infrastructures) :

Autonomous Vehicle (AV)

Pour répondre aux challenges Exploration et navigation autonomes, nous souhaitons étendre nos résultats à des applications de la robotique mobile dans des environnements naturel ou urbain différentes de celles considérées jusqu'ici, mettant en scène d'autres architectures de véhicule, évoluant sur d'autres types de sol, à des vitesses plus importantes et impliquant potentiellement plusieurs robots. A cette fin, nous focaliserons nos travaux sur les trois volets suivants :

- Gestion des incertitudes

Afin d'accroître les capacités des véhicules à se déplacer de manière autonome et sûre en milieu naturel ou urbain, nous étendrons nos travaux en intégrant de manière explicite dans la commande les incertitudes liées aux mécanismes (actionneurs par exemple), à l'interaction entre le système robotique et son environnement (adhérence ...) et aux données fournies par les capteurs.

- Prise en compte de la dynamique des véhicules/de l'environnement

Pour les véhicules lourds évoluant à des vitesses moyennes ou les véhicules plus légers mais évoluant à des vitesses importantes, il est nécessaire de tenir compte de la dynamique du véhicule pour assurer un bon comportement de la commande (en termes de précision et de confort par exemple). Nous continuerons à

développer cette dimension déjà présente dans nos travaux précédents. La dynamique de l'environnement (*i.e.*, son évolution dans le temps) sera également une composante que nous souhaitons intégrer plus fortement à nos travaux.

- Lien perception-commande

A l'opposé des techniques classiques de type SLAM où la perception est découplée de la commande et donc de la navigation autonome, il s'agira de mettre en place un cadre où la localisation, la cartographie, la navigation et l'exploration autonomes seront réalisées conjointement. Pour cela, nous nous appuyerons sur des méthodes de commande référencées capteurs dans lesquelles le lien perception/commande est explicite. Ces travaux sont en cours et seront poursuivis.

Ces travaux s'inscrivent dans les projets ADEME BUSINOVA, FUI VIPAFLEET, LabEx IMobS3, EquipEx ROBOTEX.

Modélisation, Planification et Contrôle pour Robots Manipulateurs (MPCRM)

Inter-Axes : ISPR/MACCS et MMS/MMSI

Dans le cadre du second challenge (Coopération Hommes Robots Infrastructures), nous souhaitons nous intéresser plus particulièrement au développement d'assistants robotiques pour des tâches de manipulation collaborative robot-robot et humain-robot et orienter nos travaux dans cinq directions :

- Planification de mouvements

Il s'agira de proposer des méthodes de planification de mouvements de systèmes potentiellement redondants en interaction avec des objets complexes et/ou fragiles dans des environnements contraints. Ces méthodes pourront tenir compte de la présence d'opérateurs humains dans l'espace de travail du système robotique.

- Commande multimodale

A ce jour, nous nous sommes penchés de manière plus spécifique sur les techniques d'asservissement visuel. Il s'agira ici d'explorer de nouvelles modalités capteurs (capteurs d'efforts et tactiles associés à des systèmes de vision 2D et 3D) *et* de proposer des stratégies de commande multi-modale de systèmes redondants intégrant des critères de productivité, sécurité et liés au travail collaboratif (collaboration robot-robot et humain-robot).

- Partage de tâches efficace et intuitive

Dans le contexte du partage de tâche robot-robot ou humain-robot (par exemple pour la co-manipulation), la planification optimisée des séquences d'action en fonction des contraintes de la tâche et de l'interaction avec l'environnement (potentiellement en présence d'opérateur humain) est un enjeu important que nous souhaitons adresser lors du prochain mandat quinquennal.

- Manipulation dextre

Ce troisième volet a pour objectif le développement de formalismes pour la réalisation de tâche de saisie et manipulation dextre d'objets rigides et d'objets déformables (avec un intérêt particulier pour cette dernière classe d'objets). Les verrous scientifiques à lever pour maîtriser la robotisation des tâches de manipulation d'objets déformables sont multiples. Nous nous intéresserons plus particulièrement à la planification dynamique et à commande multimodale de la tâche.

- Manipulation mobile

En lien avec le challenge "Exploration et navigation autonomes" et le volet "Autonomous Vehicle", nous souhaitons coupler nos travaux dans le contexte de la mobilité à ceux réalisés dans le cadre de la robotique manipulatrice. Il s'agira en particulier d'élaborer des stratégies de planification et de commande permettant une coordination des actions du (ou des manipulateurs) avec celles de la plateforme mobile.

Enfin, nous envisageons de porter nos travaux sur la plateforme Bi-bras (acquise dans le cadre de l'EquipEx ROBOTEX) et de développer des briques de perception / planification / commande ouverte à la communauté robotique (à travers la plateforme logiciel ROS).

Persyst – Systèmes de perception

Le thème scientifique PerSyst inscrit essentiellement ses développements dans le **premier challenge** "Exploration et navigation autonomes", mais aussi, de par le caractère transversal des travaux proposés (mais dans une moindre mesure) dans le **second challenge** "Coopération Hommes Robots Infrastructures". PerSyst a pour ambition d'adresser les trois thématiques localisation, interprétation de scènes et cartographie, avec pour cadre applicatif la robotique mobile. Les perspectives s'inscrivent dans le cadre de ces thématiques tout en accentuant leur mise en complémentarité de manière à maintenir une cohérence forte au travers notamment de la cartographie, qu'elle soit statique ou dynamique.

- Localisation des robots mobiles

Les développements que nous avons menés à ce jour montrent la faisabilité de l'utilisation de cartes de format quasiment standard (comme les cartes *openStreetMap*) pour la localisation absolue mutisensorielle d'un robot mobile, à partir d'une approche originale *top-down* guidée par un objectif de précision/intégrité. Les développements que nous proposons aujourd'hui permettront de s'affranchir des imprécisions, et des erreurs inhérentes à ces cartes : la localisation du robot et la mise à jour de la carte se feront en ligne (à la manière d'un SLAM mais dans un environnement mutisensoriel et à partir d'entités cartographiques de haute sémantique préexistantes). L'extension de l'approche de localisation à une flotte de véhicules exploitant éventuellement l'infrastructure (travaux qui émergent potentiellement au **second challenge** "Coopération Hommes Robots Infrastructures") fera l'objet de travaux parallèles mais sera largement simplifiée par l'exploitation de cartes géo-référencées pour lesquelles les problèmes de dérive et de référentiel disparaissent.

- Interprétation des scènes

Le problème de l'interprétation de scène est ici posé essentiellement dans le cadre de la robotique mobile où l'analyse des obstacles dynamiques (c'est notamment le cas des piétons dans les zones urbaines) reste un verrou. Nous pensons que l'approche *top-down* précédente que nous développons en vue de la localisation, peut s'étendre à l'interprétation des scènes dès lors que les objectifs sont définis par exemple en termes de probabilité d'occupation de la scène à l'avant du robot. A cette fin, l'ensemble des connaissances à disposition (capteurs du robot, informations issues des autres robots, capteurs infrastructure) sera exploité selon cette même approche en utilisant un critère informationnel : quelle information requérir à chaque instant pour minimiser la méconnaissance du contenu de la zone à l'avant du robot en vue de son évolution. On notera que ce volet est lui aussi **transversal aux deux challenges d'ISPR**.

- Cartographie

Outre l'exploitation des cartes pour la localisation des robots, l'élaboration de modèles 3D est également importante dans le cadre de nombreuses applications. Dans l'esprit du **premier challenge** "Exploration et navigation autonomes", un objectif à venir est de développer un système de perception portatif permettant de construire de manière autonome une cartographie 3D d'un environnement intérieur ou extérieur inconnu et de la combiner avec d'autres relevés cartographiques plus traditionnels comme des stations scanners lasers par exemple. Un processus effectuant simultanément la localisation d'un capteur mutisensoriel, collectant à la fois la distance et l'image, et la cartographie 3D sera réalisé. La carte globale sera construite de façon hiérarchique en intégrant une structure géométrique 3D au niveau le plus bas et au plus haut niveau des concepts sémantiques tels que des classes d'objets détectés dans l'environnement. Le système multi-capteurs, multi-résolutions fournira donc des images 2D et 3D qui seront fusionnées. Une interprétation globale de la scène permettant une identification des objets sera développée et évaluée.

Les enjeux corollaires de ces travaux portent sur l'amélioration de la mobilité des usagers autonomes (piétons notamment dans l'esprit du **challenge** "Coopération Hommes Robots Infrastructures") dont le modèle de déplacement peut être plus chahuté que celui de véhicules autonomes et qui accèdent à des espaces fermés (hall d'aéroport, galeries marchandes, etc.) non couverts par le GPS. Les travaux actuellement réalisés sur l'enrichissement de cartes existantes devront donc être poursuivis et adaptés à un contexte différent, nécessitant un recalage plus complexe.

On notera que ces volets scientifiques 1 et 3 (et dans une moindre mesure le volet 2) dans le projet PerSyst ont aussi vocation à alimenter notamment les problématiques développées dans **l'Axe MMS** en apportant les moyens aux systèmes et mécanismes de se localiser et d'interagir avec l'infrastructure et l'environnement.

DREAM - Dream is Research on Embedded Architectures and Multi Sensing

Compte tenu de son expertise dans le domaine des architectures de perception distribuées ou non, DREAM se positionne naturellement sur les deux challenges de l'axe ISPR. En effet, à travers les trois déclinaisons énoncées ci-dessous, le projet DREAM vise à proposer un ensemble d'outils cohérents allant de la plateforme matérielle embarquée jusqu'aux outils logiciels. Les objectifs visés sont l'implantation sous fortes contraintes d'embarquabilité de nouveaux algorithmes de perception et d'apprentissage en collaboration avec l'équipe COMSEE. Dans ce contexte, les compétences de DREAM dans le domaine de l'électronique reconfigurable et « custom » lui permettront de répondre à de nouveaux challenges en termes de contraintes énergétiques et de rapidité de calcul. Pour cela, le thème DREAM s'articulera autour de trois thématiques :

- Le développement d'outils logiciels pour l'aide à la programmation de systèmes reconfigurables.
- La proposition d'architecture multicœur associant une architecture matérielle homogène à un flot complet de développement.
- La mise en œuvre de smart caméras distribuées dans un contexte M2M et M2I.

Outils et architectures logiciels

Concernant le volet logiciel, la stratégie consistant à fonder le développement de méthodes et d'outils sur les besoins applicatifs concrets issus du déploiement de réseaux de capteurs intelligents en particulier sera poursuivie. Le développement du langage CAPH va continuer afin de répondre aux exigences d'expressivité et d'efficacité exprimées par une communauté d'utilisateurs en croissance rapide. Les performances du dorsal RTL, par exemple, peuvent être améliorées afin de réduire encore l'écart avec du code VHDL écrit à la main. Mais, plus généralement, le principal challenge à moyen terme est la prise en compte, au sein d'un formalisme unifié, d'architectures hétérogènes (associant par exemple, au sein d'un même nœud du réseau, processeurs généralistes, spécialisés, circuits reconfigurables voire GPU). La question sous-jacente est d'abord la pertinence du modèle flot de données - sur lequel repose essentiellement les outils développés à ce jour - dans un contexte désormais marqué par l'hétérogénéité matérielle d'une part donc, mais aussi la complexité des applications et la nécessité de réutiliser autant que faire se peut des algorithmes et du code existants d'autre part. Le cas échéant, les outils devront autoriser à terme la coopération entre des parties d'application décrites avec des modèles de calcul différents, ce qui pose des problèmes à fois sur le plan théorique (compositionnalité des sémantiques sous-jacentes, réécritures automatiques, ...) mais aussi sur un plan plus pratique (nature du formalisme offert au programmeur, intégration au sein d'une chaîne de développement unifiée, déploiement transparent de code de natures très différentes, migration de code, compilation déportée, ...).

Systèmes manycore ASIC

Nous souhaitons poursuivre nos contributions dans le domaine de la définition, de la conception et de la réalisation de système manycore. Les travaux ont porté jusqu'à présent sur la conception de systèmes multiprocesseurs sur cible FPGA basés sur une approche appelée HNCP (réseaux de processeurs homogènes communicants) et -dans de très récents travaux- à la définition et la réalisation d'un circuit ASIC à base d'un processeur open-source et de ses périphériques en technologie ST CMOS 65nm.

Afin d'aller plus loin et de bénéficier de la performance offerte par la cible ASIC, l'objectif de définir des systèmes manycore intégrant flexibilité au niveau architectural, programmabilité et performances. D'autre part, il est intéressant de coupler à l'approche manycore programmable la possibilité d'adjoindre des modules dédiés (Hard-IP, circuit définis en dur) enfouis dans le silicium afin par exemple de réaliser les tâches de traitement vidéo bas niveau.

Par ailleurs, les futurs travaux consisteront à envisager l'ASIC comme faisant partie d'un environnement où cohabitent plusieurs solutions de calcul (FPGA, DSP, etc ...), l'ASIC manycore pouvant être vu alors comme un coprocesseur dédié ou un accélérateur dédié au traitement d'image.

Combinés à des squelettes de parallélisation facilitant la programmabilité de l'architecture, il s'agira de proposer des circuits ASIC permettant le portage en temps réels de différentes classes d'algorithme de traitement d'images sur des technologies à forte intégration comme la technologie ST CMOS FD-SOI 28 nm.

Réseau de smart caméras

Cette thématique nouvelle au laboratoire et en particulier dans le thème DREAM a été récemment initiée par l'action RECIPAS du Labex IMobS3. Elle se positionne dans une approche « internet des objets » (IoT: Internet of Things) en considérant l'objet « smart caméra ». Cela nous amènera à dégager trois problématiques :

- Les objets (smart cameras) seront capables de produire de l'information en fonction d'un acteur et de ses requêtes : Les objets fournissent de l'information en fonction de requêtes. Si ces requêtes nécessitent une nouvelle architecture matérielle de calcul, dans une première étape, l'acteur peut fournir cette architecture (données de reconfiguration). Dans une approche à plus long terme, la caméra serait capable de générer sa configuration de calcul.
- Les systèmes sans-fils pourront inter-opérer horizontalement de façon collaborative : Plusieurs smart caméras peuvent être associées soit sous forme « data » pour fournir des données plus robustes ou complémentaires. Un exemple trivial est le suivi de personnes dans des bâtiments où les caméras vont « se passer la main » afin de garder la cible en vue. Un second type d'association est la forme « Processing » où les cœurs de calcul des différentes caméras vont être associés pour fournir une puissance de calcul plus conséquente.
- La notion d'information sera liée à la notion de service tout comme les périphériques et le réseau : Avec une telle approche (IoT), les smart caméras deviennent de véritables ressources de l'internet en produisant des données tout en étant aussi vecteur de calculs distribués.

Axe Mécanique, Matériaux et Structures

L'ambition de l'Axe MMS est d'apporter des solutions pour les défis nationaux et internationaux, en matière de performance et d'agilité des systèmes, d'éco-conception et d'éco-construction, de maîtrise des incertitudes et de la durabilité, et d'économie d'énergie. Cette stratégie s'inscrit parfaitement dans le cadre des enjeux pour la nouvelle France industrielle et pour le développement d'espaces de vie durables. Les grandes orientations de l'axe MMS peuvent être résumées comme suit :

- relever les défis associés à l'Usine du Futur ;
- développer des techniques, des matériaux et des systèmes éco-responsables ;
- développer des techniques de caractérisation et d'expérimentation, en laboratoire et in-situ ;
- maîtriser les incertitudes, les variabilités et la durabilité des matériaux et structures ;
- optimiser les cycles de vie des matériaux et structures, et des systèmes mécaniques et industriels.

Le projet de recherche de l'Axe MMS se décline en 16 actions de recherche réparties sur les trois thèmes : MS (8), MMSI (4) et MPMS (4). La matrice actions de recherche / thèmes est présentée ci-dessous. Elle met en avant les fortes interactions entre les différents thèmes sur la majorité des actions, témoignant d'une volonté forte de mener des travaux collaboratifs aux interfaces en croisant les compétences des membres de l'axe. Chaque action est placée sous la responsabilité d'un thème (repéré en caractères gras dans la matrice ci-dessous), et plus particulièrement sous la responsabilité d'un groupe scientifique.

	MS								MMSI				MPMS				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	A5
MS	■	■	■	■	■	■	■	■		■			■				■
MMSI					■				■	■	■	■	■	■			
MPMS		■		■	■		■					■	■	■	■	■	■
Axes IP	ISPR GePEB				ISPR	GePEB	GePEB	TGI	ISPR	ISPR				PHOT			PHOT

(responsabilité de l'action scientifique - collaboration)

Les actions répondent aux défis des trois domaines applicatifs cibles de l'IP et aux défis que l'Axe porte en coeurs d'expertise :

- performance et agilité des machines et des systèmes
- éco-conception et éco-construction : techniques, matériaux, machines et systèmes éco-responsables
- maîtrise des incertitudes, de la variabilité et de la durabilité des matériaux et structures
- optimisation des cycles de vie des matériaux, structures et systèmes mécaniques et industriels
- techniques de caractérisation et d'expérimentation avancées en laboratoire et in-situ.

MS - Matériaux et Structures

Les actions du thème MS s'intéressent au domaine des matériaux et des structures avec des applications dans les secteurs du génie civil et de la mécanique. L'équilibre entre recherches fondamentale et finalisée est un point clé de la démarche, ainsi que le renforcement des interactions entre les groupes scientifiques du thème, pour répondre aux défis sociétaux notamment de l'industrie du bois, de la fabrication ou du recyclage et de la valorisation des matériaux naturels ou manufacturés, ainsi que de la rénovation thermique des bâtiments.

Plus généralement, le thème cultive ses compétences dans les domaines de la caractérisation fine, expérimentale ou numérique, de matériaux naturels ou intelligents ainsi que de leurs assemblages et interfaces, de la maîtrise des risques (exemple : séisme et incendie), de la rationalisation des ressources dans les domaines du génie civil et de la mécanique et de la bonne maîtrise de la durabilité des matériaux naturels ou manufacturés ainsi que de leurs assemblages et interfaces. La force du thème MS réside dans le couplage quasi-systématique de l'expérimentation et de la modélisation ainsi que dans le passage de l'échelle microscopique à celui de la structure.

Le bilan actuel montre la dynamique prometteuse du thème MS. L'objectif du thème est de continuer à développer ses recherches en s'appuyant sur les réseaux académiques et de recherche au niveau régional, national et international. La coopération avec le monde industriel continuera car plusieurs des travaux de la thématique ont des volets de recherche finalisée. Les travaux menés dans le cadre des six groupes scientifiques combinent des volets amont et aval de la recherche et montrent un caractère évolutif fort. Les deux autres activités relatives à la thermique du bâtiment et aux matériaux en conditions extrêmes constituent des thèmes émergents à forte valeur ajoutée. Ces activités sont en train de prendre une assise intéressante qui aura un fort potentiel de développement dans le cadre des projets transdisciplinaires au

sein de l'Institut Pascal. Les travaux sur les matériaux, en plus du côté fondamental, ont différentes applications notamment dans le domaine de l'équipement et de la construction.

La problématique scientifique du thème est centrée sur une approche couplée de modélisation et d'expérimentation allant des matériaux aux structures dans les domaines de la mécanique et du génie civil. Cette approche couplée permet au thème d'être à la pointe au niveau des analyses de structures et des effets d'échelles en associant les phénomènes observés expérimentalement et les modèles de calcul. Ces modèles s'appuient généralement sur les éléments finis ou les éléments discrets. La durabilité des matériaux et des structures constituent des actions transversales du thème. Les techniques de mesures, d'essais et de calcul permettent de répondre à des demandes diverses et variées du milieu industriel telles que l'aéronautique, les ouvrages d'art et les constructions souples (bois, métal, mixte). Le thème a capitalisé une expérience certaine dans différents domaines scientifiques et intègre des recherches émergentes. Ces actions de recherche importantes que le thème compte développer, souvent en continuité des travaux en cours, sont décrites ci-après.

Action 1 : Développer les méthodes d'imagerie pour la mesure de champs et la caractérisation du comportement des matériaux.

Les techniques d'imagerie quantitative permettent le développement de méthodes de caractérisation très innovantes vu la richesse des mesures mise à disposition. Elles constituent des outils très pointus pour caractériser le comportement et les mécanismes de déformation de divers matériaux et structures.

Le groupe scientifique MEMC travaille sur la caractérisation des matériaux et des structures par imagerie quantitative. Les compétences concernent à la fois le développement d'outils de traitements de mesure de champs thermiques et cinématiques, mais également le développement de méthodes d'identification de propriétés matériaux par approches inverses. Le premier objectif concerne la maîtrise d'outils de mesure de champs en se focalisant sur des problèmes métrologiques de caractérisation du bruit de mesure des problématiques de résolution avec une ouverture vers le traitement d'images. En effet, la volonté de standardisation des outils de mesure de champs nécessite la connaissance de leurs performances métrologiques. Pour le groupe, ceci concerne les deux types d'approches complémentaires qu'il développe et utilise (la méthode de la grille et la corrélation d'image numérique). Le second objectif se base sur la mise en œuvre des techniques développées pour la caractérisation du comportement des matériaux tels que l'analyse des composites en fatigue, les matériaux agrosourcés, et les grandes structures du génie civil.

Action 2 – Développer des méthodes pour l'analyse probabiliste des sols en lien fort avec les préoccupations industrielles.

La prévision du comportement des ouvrages et des massifs de sol constitue la motivation principale des développements avec finalité industrielle en ingénierie civile. Le diagnostic de l'état des ouvrages en service : ouvrages ferroviaires, tunnels, barrages ou bassin d'assainissement et leurs cinétiques d'évolution dans le temps constituent les éléments sur lesquels se base l'aide à la décision et plus généralement l'analyse de risques. Ces travaux se développeront en coopération avec la thématique MPMS, des organismes (IRSTEA) ou des entreprises (RATP, Sol Solution, SNCF).

Après avoir développé des techniques et outils permettant de récolter des données in-situ, les travaux vont se poursuivre au niveau de la spatialisation, sur l'analyse, le formatage, le couplage et l'utilisation de ces données en vue de fournir des cartes probabilisées de paramètres géotechniques qui peuvent alimenter les études de vulnérabilité des ouvrages. En parallèle, le groupe va renforcer les travaux actuels sur le comportement dynamique des sols en particulier des sols non saturés pour permettre l'adaptation aux évolutions actuelles au niveau réglementaire et du changement climatique. Ainsi, le développement de nouvelles techniques d'identification complètera la gamme d'outils actuels. Aussi, l'étude des matériaux grossiers constitue une orientation de développement notamment du fait de la nécessaire valorisation de matériaux de déconstruction, de la réutilisation de matériaux ou de l'évaluation d'ouvrages en service. Les équipements acquis dans le cadre de la plateforme ECOGRAFI permettront de compléter les approches de modélisation développées.

Action 3 – Développer des méthodes pour la modélisation, l'expérimentation et la compréhension du comportement mécanique des assemblages à différentes échelles.

Cette activité concerne les structures neuves ou renforcées et leurs assemblages et interfaces mécaniques sous différents types de sollicitations (service, incendie, séisme). Les travaux sont centrés sur la modélisation du comportement jusqu'à la ruine d'assemblages de structures bois, métalliques ou mixtes (acier-béton, bois-béton). La démarche scientifique que la thématique continuera à cultiver consiste à associer les approches de modélisation numérique et l'expérimentation à différentes échelles. La préoccupation majeure est d'avoir la meilleure compréhension possible de la réponse mécanique (y compris robustesse et ductilité) des structures intégrant le comportement des différents composants, matériaux et interfaces. Les modèles développés permettront d'alimenter aussi bien les approches numériques que les formulations simplifiées dérivées pour l'ingénierie. Pour les structures bois, métalliques, mixtes et leurs assemblages, les

travaux vont continuer en **combinant modélisation et expérimentation multi-échelles** pour une meilleure maîtrise du comportement des structures, de leurs assemblages et de leurs protections sous incendie, ainsi que l'analyse de l'effet de la mixité sur le comportement des éléments et des assemblages. Les travaux s'orienteront aussi sur **la compréhension des sources de robustesse et de ductilité dans les assemblages et les structures**. Les travaux sur l'effet de l'incendie (éléments structuraux et assemblages) continueront dans le cadre de la coopération nationale (CTICM, CSTB) ou internationale (Univ. Prague, Arcelor-Mittal Luxembourg). Les travaux de ces domaines, dont les intersections sont très fortes, vont être enrichis par des collaborations avec les autres groupes scientifiques (mesures de champs, matériaux biosourcés, fatigue d'assemblages, sol-structures, ...).

Action 4 – Développer les méthodologies pour la modélisation et la compréhension du comportement des structures et assemblages sollicités en fatigue.

Cette action sera orientée sur la caractérisation et la modélisation du comportement en fatigue en s'appuyant sur les outils de modélisation développés et les moyens expérimentaux disponibles. La démarche suivie vise à caractériser l'état d'endommagement des matériaux et des structures sous sollicitations cycliques ou à amplitude variable, uni-axiales ou multiaxiales. L'étude de la rupture par fatigue des matériaux métalliques prend en compte l'influence des procédés de fabrication, de mise en forme et d'assemblage, et des concentrations de contraintes locales introduites. Les travaux sur des applications automobiles vont se diversifier vers le dimensionnement en fatigue de structures métalliques du génie civil et plus particulièrement d'assemblages boulonnés. La définition d'essais destinés à vérifier les critères de prédiction d'amorçage de la rupture au fond d'entailles en V, l'utilisation de l'approche hamiltonienne en mécanique de la rupture, l'établissement de critères de bifurcation de fissures en milieu élasto-plastique, le couplage local/global des critères de rupture, la rupture en milieu couplé mécanique/piezoelectrique et le couplage fiabilité/rupture (lien avec le thème MPMS) d'assemblages soudés en fatigue sont des sujets qui seront encouragés. Les travaux se font en collaboration avec des partenaires industriels (Cetim, Arcelor). Un autre aspect des travaux concerne le **développement de méthodes numériques pour l'étude du comportement global à la rupture de matériaux hétérogènes tels que le bois ou les matériaux cimentaires renforcés par des fibres synthétiques ou naturels**. Ainsi, les comportements thermo-visco-hydrromécaniques sont couplés à la mécanique de la rupture pour évaluer la réponse des structures bois soumises aux environnements variables (humidité et température...). Le développement d'un modèle selon la théorie non-locale permet de prévoir l'amorçage puis de suivre la propagation de fissures jusqu'à la rupture des matériaux fragiles y compris hétérogènes.

Action 5 – Développer de nouvelles approches mécaniques et des modélisations multi-échelles et multi-physiques pour les matériaux actifs et intelligents.

Le comportement des matériaux actifs et intelligents sous sollicitations mécaniques, physiques et/ou chimiques et sous différentes conditions aux limites "mécaniques" seront étudiés. Leurs applications seront étendues dans différents domaines (génie mécanique, électronique, automatique, génie civil, ...). Les matériaux considérés seront les hydrogels, les élastomères diélectriques, les matériaux piézoélectriques et les alliages à mémoire de forme. Des facteurs essentiels liés au comportement mécanique et multi-physique et la rupture seront analysés. Les acteurs de cette action renforceront leurs collaborations au sein de l'Axe MMS, dont l'expertise est multidisciplinaire, dans le domaine des matériaux actifs et intelligents et l'analyse multi-échelle de leurs comportements complexes. Les travaux collaboratifs au niveau de l'Institut Pascal (Axe ISPR) et international (Harvard, USA ; Karlsruhe Institute of Technology, Allemagne ; Université Nationale de Dnipropetrovsk, Ukraine ; Université de Padoue, Pologne ...) vont également être développés.

Action 6 - Développer les expérimentations et modélisations des microstructures des composites bio-sourcés pour une meilleure maîtrise des dispersions de leur comportement.

Dans le domaine des matériaux biosourcés, un des principaux freins à l'utilisation des fibres et particules végétales dans les composites à matrice polymère ou minérale est lié à la variabilité de leurs propriétés, qui peut se transmettre à l'échelle du composite. Un des objectifs est de **poursuivre les expérimentations et modélisations des microstructures des composites bio-sourcés** en un sens statistique puis de proposer des méthodes et outils permettant d'analyser l'impact de ces sources d'incertitudes présentes aux échelles micro et méso sur les propriétés finales des composites. **La prise en compte des variabilités induites par les procédés de fabrication** est également un objectif de nos travaux, tant au niveau de la modélisation numérique du comportement des composites que de leur validation expérimentale. A l'échelle de la structure, un nouveau type d'éco-matériau sera développé pour la **construction "bio-TRC"**. Ces matériaux composites sont constitués d'une matrice minérale à faible impact environnemental et de renforts textiles en fibres végétales. Ils sont appliqués au développement de l'écoconception et du design des bâtiments ainsi qu'au renforcement et à la réparation d'éléments de structures. Ces conceptions innovantes et l'optimisation de structures composites durables en matériaux biosourcés (bois, bio-TRC et béton végétal) visent **l'obtention de performances multi-physiques (mécaniques, hygrothermiques et acoustiques)**. Les paramètres sanitaires et économiques de ces structures sont aussi étudiés. Des collaborations sont développées avec d'autres groupes scientifiques (assemblages et structures, mesures de champs,...).

Action 7 (Activité émergente) - Développer les méthodes numériques et expérimentales pour l'analyse thermique du bâtiment.

Cette action a débuté depuis quelques années dans le domaine de la résistance au feu d'assemblages bois-métal. Elle développe des compétences expérimentales et de modélisation dans le domaine des transferts de chaleur et de masse dans les parois et composants pour des températures de confort ou extrêmes de type incendie (thèse Samaké 12/2015, Saulnier 05/2018). Les collaborations seront renforcées avec les autres groupes scientifiques du thème (assemblages et structures, matériaux biosourcés) pour les aspects matériaux et structures et avec le thème MPMS pour les variabilités (thèses Aissani 12/2015, Belazi 10/2017). Le groupe est en train de compléter ses équipements pour les essais au feu et les mesures de caractérisation thermique de confort. Au niveau thermique, les travaux de recherche seront orientés autour des transferts couplés de chaleur et de masse dans les matériaux poreux de construction et de l'impact des enveloppes sur la performance énergétique des bâtiments. Différentes solutions techniques d'amélioration des performances du bâtiment vis-à-vis des ambiances intérieures seront étudiées, principalement par le traitement de l'enveloppe (végétalisation de parois, suivi de mur Trombe en cours de construction dans le cadre du projet A2ex-IUT Montluçon). Du point de vue numérique, pour surmonter les limites des modèles actuels, une approche est développée pour évaluer les performances énergétiques des bâtiments avec prise en compte des variabilités du comportement des occupants, qui figurent parmi les principales sources d'incertitude sur la performance effective de l'habitat.

Action 8 (Activité émergente) - Etude des matériaux en conditions extrêmes.

Deux sujets sont prévus dans cette action. Le premier concerne les boucliers thermiques des sondes spatiales lors des rentrées atmosphériques, le second concerne le développement de techniques plasmas pour le traitement superficiel des matériaux (aciers, bois). Ces deux sujets sont complétés par une **approche de modélisation par dynamique moléculaire**. Les travaux sur les sondes spatiales sont développés en partenariat avec le CNES qui finance l'opération dans le cadre d'une collaboration avec des laboratoires internationaux fédérés par l'ESA. Les travaux de traitement de surface des matériaux ont été initiés dans le cadre d'une collaboration avec la manufacture des pneumatiques Michelin ; ils sont actuellement pérennisés par une collaboration avec la Scieries du Forez dans le cadre d'un appel à projet Matgrid de la région Auvergne. L'objectif à long terme est de développer ces travaux et collaborations et d'étendre les champs de compétences au domaine des matériaux en lien fort avec les compétences présentes au sein de l'Institut Pascal. Les collaborations récentes avec le GRéD dans le cadre du PEPS-Site et avec l'Axe IGT dans le cadre du montage d'un projet européen, permettent le développement des matériaux numériques pour les applications bio-médicales.

Action Matériaux et Modélisations Multi-Echelles

Inter-Axes : MMS/MS et GePEB, ISPR, PHOTON, TGI

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

Action Imagerie Quantitative

Inter-Axes : MMS/MS et GePEB, ISPR, TGI

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

MMSI - Machines, Mécanismes et Systèmes Industriels

Le thème MMSI est structuré en trois groupes scientifiques, respectivement : Synthèse des mécanismes et des robots (SMR) ; Étude du comportement en service des systèmes complexes (ES²C) ; Excellence opérationnelle des machines et systèmes industriels (EOMSI). Le projet du thème Machines, Mécanismes et Systèmes Industriels (MMSI) est articulé autour de briques technologiques et scientifiques intégrables dans le concept d'**Usine du Futur**.

Le projet de recherche MMSI porte sur le développement et l'étude de nouveaux concepts de machines et de systèmes de production **intégrant au plus tôt, dès la phase de conception**, les notions d'**agilité** et de **reconfigurabilité**. L'activité de recherche en Robotique de Production, par les gains apportés sur les possibilités d'évolution et de flexibilité des moyens de production, démontre tout son intérêt. Le développement de nouvelles générations de robots/machines à la fois agiles, reconfigurables, multifonctionnels implique une activité de recherche soutenue **à l'interface de la robotique, des machines-outils, des éléments de structure et de leurs matériaux constitutifs optimisés**.

Ainsi, à travers le développement de cellules robotisées de production et de manipulation dextre, financées par le projet Innov@pole (CPER 2007-13) et le programme EquipEx RobotEx, nous poursuivrons les développements autour des machines, robots et cellules à redondances cinématiques pour **optimiser les performances des tâches à réaliser, que ce soit l'usinage ou la manipulation**. Le développement de l'agilité

des machines-outils et robots s'appuie sur l'innovation en matière de synthèse structurale et dimensionnelle des machines, d'optimisation des composants, de choix des matériaux. La maîtrise du comportement s'appuie sur le développement de modèles robustes à faible temps de calcul et l'intégration de ces derniers dans des algorithmes de commande avancée. Quatre actions de recherche MMSI sont identifiées.

Action 1 - Développer l'usine intelligente par une meilleure intégration du numérique dans les robots et systèmes de production

Action inter-Axes : MMS/MMSI et ISPR/MACCS-PERSYST

Le groupe scientifique ES²C a pour objectif de proposer une démarche de conception des machines, robots et mécanismes complexes commandés adaptée à la tâche à effectuer, à partir de la prédiction et la maîtrise du comportement réel. Cette démarche repose sur la modélisation statique, cinématique et dynamique de la structure, en intégrant les non linéarités d'interfaces entre pièces et les comportements de la commande et du procédé. L'originalité de l'approche vient du **couplage entre la machine et le procédé qui permet de proposer une machine optimisée**. Nos efforts porteront sur la **proposition de méthodes et de modèles robustes à faible temps de calcul** (partenariat ISPR/MACCS) des machines et robots considérés en réduisant le paramétrage, via une identification dans les conditions de service. Ainsi seuls les comportements influant sur la réalisation de la tâche sont pris en compte. Les approches de modélisation ainsi que les modèles développés sont validés expérimentalement à partir d'essais et de contrôles sur les équipements des plateformes ou directement sur les sites de nos partenaires industriels. Nous travaillerons également sur **l'optimisation des trajectoires des machines-outils** (partenariat ISPR/MACCS) afin d'usiner plus vite, avec une meilleure qualité et une rentabilité économique accrue. Le développement d'outil de planification de trajectoires optimisées s'effectue par gestion des redondances au travers de la prise en compte des contraintes cinématiques et dynamiques de la tâche. L'objectif de réduction de délai et d'amélioration de la qualité se décline, à travers les progiciels de CFAO jusqu'à la conception du produit et une meilleure définition de sa cotation fonctionnelle. La partie commande des robots sera également étudiée pour mieux maîtriser le processus d'enlèvement de matière. L'ensemble de ces travaux permettra de mieux optimiser les processus d'usinage en intégrant la modélisation et le contrôle temps-réel du comportement dynamique des machines.

Dans le domaine des Systèmes de Production, en lien avec le groupe EOMSI, nous avons développé un démonstrateur physique d'une cellule flexible de production composée de plusieurs robots, de convoyeurs avec différents types de capteurs et différentes technologies de réseaux industriels pour communiquer entre le démonstrateur physique, le MES et le logiciel de supervision. Nous disposons aussi de plusieurs modèles numériques de ce démonstrateur physique. En appui de ce démonstrateur, le **développement des approches multi-agents et les notions d'agilité en production** (partenariat ISPR/PERSYST) constitueront les enjeux de recherche des prochaines années. Nous continuerons d'améliorer les modèles numériques de cette cellule afin de valider les différents concepts développés.

Action 2 - Améliorer la flexibilité de l'usine et la personnalisation de la production

Action inter-Axes : MMS/MMSI et ISPR/MACCS-PERSYST

Le groupe scientifique SMR a pour objectif de proposer une démarche systématique pour la synthèse structurale et la synthèse dimensionnelle des mécanismes complexes. La synthèse structurale vise à trouver les architectures mécaniques répondant aux paramètres structuraux requis, notamment par des critères de mobilité développés récemment pour les mécanismes parallèles, par la généralisation de la morphologie évolutionniste et par l'emploi de bases de connaissances sur les mécanismes, développées au sein de l'équipe. La **synthèse dimensionnelle** permet, dans un second temps, de compléter le modèle du mécanisme (longueurs, matériaux, ...) et d'optimiser son comportement selon de nombreux critères (rigidité, fréquences propres, stabilité...). La **synthèse de lois de commande** avancées (partenariat ISPR/MACCS) permet, notamment pour les robots reconfigurables, d'éviter ou de traverser des singularités et d'augmenter l'espace de travail atteignable et/ou d'offrir des possibilités de reconfiguration de mécanisme. Cette action vise à développer des concepts innovants de mécanismes, des robots à hautes performances ainsi que des machines à propriétés structurales spécifiques (redondance, reconfigurabilité, modularité, kinématotropie, rigidité active ...).

Nos activités balaient un spectre large qui va de la synthèse des mécanismes assurant de nouvelles capacités de reconfiguration et d'adaptation en environnement plus ou moins structuré jusqu'à la conception d'ateliers flexibles hautement reconfigurables, dotés de nouveaux modules décisionnels et d'actions, nativement distribuées, offrant une rapidité et une souplesse optimale dans la réorganisation des moyens industriels. Elles concernent également la **conception et l'intégration de robots intelligents capables de se mouvoir en autonomie** (partenariat ISPR/PERSYST) et de s'adapter aux évolutions morphologiques des pièces. Nous nous intéresserons en particulier au cas des manipulateurs mobiles collaboratifs, la cobotique, les poly-robots composés d'un nombre variable d'entités simples (mono-robots), ajustable au mieux selon la taille, la forme et la masse des produits manipulés et/ou fabriqués.

Action 3 - Intégrer des méthodes d'optimisation dans de nouveaux outils logistique

Le groupe scientifique EOMSI poursuit le développement des méthodes d'optimisation de la préparation de commandes. Les projets concernent également le développement d'outils d'optimisation simultanée de la composition et de la tournée des camions et une meilleure conception des entrepôts permettant une densification bien plus élevée du stockage afin de diminuer les coûts et d'améliorer l'empreinte CO₂ par SKU (stock-keeping unit).

Action 4 - Développer la prise en compte du développement durable et la place de l'homme dans les moyens de production

Les travaux portent sur les problématiques organisationnelles, humaines et de gestion des compétences associées. Une des clés passe par la modularité et la reconfigurabilité des moyens de production, permettant de diminuer les coûts, améliorer la réactivité et la tolérance de pannes. Par ailleurs, la recherche de la performance constitue une autre clé, car la formalisation, la modélisation et l'évaluation de la performance sont des points critiques de nos travaux. Le regroupement des trois domaines de compétence Mécanique, Génie Mécanique et Génie Industriel permet d'acquérir une plus grande maturité dans l'expression des indicateurs, en particulier ceux liés au développement durable et à la place de l'homme au sein de systèmes complexes.

MPMS - Mécanique Probabiliste des Matériaux et des Structures

Les travaux du thème MPMS vont continuer de s'inscrire dans le prolongement de ceux menés actuellement, dans le cadre général de l'analyse probabiliste des systèmes mécaniques et des matériaux en contexte incertain. Les recherches des membres du thème portent naturellement sur la conception, l'exploitation, la maintenance et la durabilité des systèmes en se basant sur des approches probabilistes.

D'une manière générale, les verrous scientifiques auxquels sont confrontées les activités du thème MPMS peuvent être classés en trois groupes, portant sur les données, les méthodes d'analyse et la prise de décisions sous incertitudes. Plus précisément, concernant les données d'entrée, on peut mettre en exergue la modélisation probabiliste (par processus et champs), et l'identification des paramètres à partir des données réelles. Pour ces points, les difficultés concernent la qualité, la quantité et la précision des données numériques (mesurées ou issues de calculs), relevant des verrous 1 et 2 pointés par le Livre Blanc de la Recherche en Mécanique publié en février 2015 par l'Association Française de Mécanique. Pour ce qui est des méthodes d'analyse probabilistes, les principaux verrous portent sur la propagation d'incertitudes dans les modèles numériques (éventuellement à différentes échelles), en particulier appliquée au calcul de probabilité d'événements rares. Les difficultés majeures sont liées à la prise en compte d'une variabilité importante (grand nombre de variables aléatoires - plus de 100, processus et champs) en lien avec la complexité des modèles (souvent non linéaires), et la quantification des probabilités faibles ainsi que le calcul des lois des valeurs extrêmes de processus. Le passage du court au long terme en lien avec la modélisation probabiliste de la dégradation sont également des enjeux importants. Tous ces points sont cités dans le verrou 3 du Livre Blanc de la Recherche en Mécanique. Enfin, les principaux verrous liés à l'exploitation des résultats de calculs probabilistes concernent l'aide à la décision basée sur les résultats d'une analyse probabiliste (propagation d'incertitudes, analyse de sensibilité) afin d'assurer la sûreté avec un certain niveau de confiance et de fournir des outils pour la conception et la gestion de la durée de vie (inspection, maintenance...) par une approche globale de la performance (renvoyant au verrou 4 du Livre Blanc de la Recherche en Mécanique), en particulier pour la prise en compte d'événements rares à fortes conséquences.

Le thème MPMS est reconnu nationalement, voire internationalement, sur l'ensemble de ces activités de recherche. Devant l'augmentation du nombre de structures de recherche dans ce domaine, le thème se doit de demeurer à la pointe sur ces activités de façon à maintenir sa compétitivité et sa reconnaissance nationale et internationale. Dans ce contexte général et en poursuite des activités actuelles, les travaux envisagés au sein des groupes scientifiques peuvent être regroupés en 4 actions.

Action 1 - Construction de modèles stochastiques

Ces dernières années, de gros efforts ont été portés sur les méthodes de transfert d'incertitudes dans l'objectif d'obtenir la meilleure estimation possible des produits de l'analyse probabiliste (probabilité de dépassement de seuils, sensibilités, ...). Or ces estimations sont totalement conditionnées par les modèles stochastiques définis en amont sur les variables jugées incertaines. Il apparaît donc très important maintenant d'apporter une vraie réponse à cette problématique de construction efficace, pertinente et juste nécessaire des modèles probabilistes. Trois pistes de travail seront donc adressées :

- identification modale et mise à jour de modèles dynamiques structuraux ;
- construction et simulation de processus et champs stochastiques (gaussiens ou non gaussiens, stationnaires ou non stationnaires) ;
- modélisation probabiliste de la dégradation des structures.

Action 2 - Méthodes numériques pour la propagation d'incertitudes par méthodes non intrusives

De nombreux travaux demeurent nécessaires dans le domaine de la propagation d'incertitudes pour résoudre des problèmes industriels dont les spécificités reposent sur la prise en compte d'événements rares dont la modélisation s'effectue avec des modèles potentiellement très coûteux en temps de calculs et dépendant d'un nombre important de variables incertaines. Deux pistes de travail seront donc favorisées :

- évaluation de probabilités faibles associées à des événements rares par construction de méta-modèles adaptatifs (krigeage, SVM) ou par résolution d'équations et inclusions différentielles stochastiques non-linéaires ;
- résolution de problèmes à dimension stochastique élevée (grand nombre de variables, processus ou champs...).

Action 3 - Conception et optimisation en présence d'incertitudes

De plus en plus d'industriels s'intéressent à la problématique de l'optimisation sous incertitudes souvent nommées (de façon abusive parfois) conception robuste. Trois pistes de travail seront particulièrement développées :

- **Conception fiable et robuste** : optimisation mécano-fiabiliste, calibration de coefficients partiels en lien avec un objectif de fiabilité : réflexion sur la formulation et la mise en équations des problématiques industrielles et développement de méthodologie économiques en temps de calcul en lien avec l'action 1.
- **Optimisation du cycle de vie des structures** : l'un des principaux enjeux industriels de la maîtrise des incertitudes est d'être capable de modéliser et d'expliquer les dispersions observées de l'évolution des propriétés des structures, dans l'optique de l'optimisation de la gestion de leur durée de vie. Le thème MPMS co-anime le groupe de travail AFM / SF2M "Fatigue et incertitudes" qui témoigne de l'intérêt de différentes communautés sur ce sujet et le groupe européen ROLCCOST "Reliability-based Optimization of Life Cycle Cost of Structures and Infrastructures".
- **Optimisation de la maintenance par la fiabilité** : en lien avec l'optimisation du cycle de vie, l'un des enjeux industriels demeure la réduction des coûts d'exploitation, y compris l'inspection et la maintenance. Dans le contexte industriel, l'optimisation de la maintenance doit tenir compte des incertitudes et variabilités des conditions d'exploitation, des mécanismes de dégradation et des techniques d'intervention.

Ces travaux scientifiques s'appliquent aussi bien aux systèmes mécaniques, qu'aux structures et infrastructures, y compris les infrastructures du transport et ferroviaire.

Action 4 - Analyse du comportement des matériaux hétérogènes à microstructure aléatoire

Un des moyens d'analyse et de réduction des incertitudes observées sur les matériaux et les structures à l'échelle macroscopique consiste en une modélisation stochastique à l'échelle micro ou méso puis à un transfert d'incertitudes. Ce sujet est particulièrement d'intérêt dans le domaine des matériaux composites où un des principaux freins à leur utilisation massive repose sur le manque de reproductibilité de leurs propriétés. Deux pistes de travail sont donc définies :

- Modélisation stochastique de microstructures à partir de données réelles.
- Influence de l'aléa de la microstructure sur les propriétés mécaniques apparentes et la durée de vie.

Action 5 - Compatibilité électromagnétique en environnements stochastiques complexes

Action inter-Axes : PHOTON/CEM et MMS/MPMS

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

Axe Photonique, Ondes, Nanomatériaux

La structuration en trois thèmes scientifiques, Nanostructures et Nanophotonique (N2), Microsystèmes et Nano-Matériaux (MINAMAT), Compatibilité Electromagnétique (CEM), s'est révélée tout à fait pertinente d'un point de vue organisationnel et sera préservée dans les prochaines années. Les projets scientifiques sont déclinés ici par thème. La dernière partie est consacrée à une brève description de la mise en oeuvre du projet au niveau de l'Axe.

Nanostructures et Nanophotonique (N2)

Au cours des dernières années, les activités de N2 se sont notamment fédérées autour de la polaritonique excitonique et plasmonique. Les avancées scientifiques du thème permettent d'envisager la réalisation de nouveaux composants optoélectroniques basés sur la physique des polaritons de cavité et la manipulation fine de la lumière dans les cristaux photoniques, les métamatériaux ou les structures plasmoniques.

Les activités théoriques du thème s'appuieront sur un savoir-faire expérimental basé sur des techniques de spectroscopie optique avancées. Cette composante expérimentale s'est récemment renforcée avec le recrutement d'un MCF et d'un IR CNRS en 2012, l'acquisition d'équipements, comme un cryostat à circulation en 2015 dans le cadre du LabEx GaNeX et une streak camera programmée pour 2016 dans le cadre du CPER. A terme, les activités de spectroscopie optique vont également s'orienter vers l'étude de nano-objets pour l'optoélectronique.

Le thème s'appuiera sur des collaborations avec de nombreux groupes académiques et non-académiques en France et dans le monde ainsi que sur une reconnaissance internationale forte qui se traduit dans le bilan par un nombre élevé de publications dans des revues à fort impact, niveau que nous souhaitons maintenir au cours des prochaines années.

Polaritonique excitonique, nanostructures de semiconducteurs

- Fluide quantique de lumière

Nous proposons de poursuivre l'activité théorique extrêmement fructueuse menée sur l'étude des fluides quantiques de lumière dans différents systèmes (cavités planaires, réseaux périodiques). Le responsable de l'activité théorique coordonne un projet ANR déposé sur ce sujet en collaboration avec le LKB, le LPN et l'Institut Néel.

- Isolant topologique photonique et polaritonique

L'activité récemment démarrée sur la création et l'étude d'isolants topologiques photoniques et polaritoniques sera poursuivie en s'appuyant sur une collaboration avec le LPN pour la mise en évidence expérimentale d'un isolant topologique polaritonique de type Z à partir de graphène polaritonique comme nous l'avons proposé théoriquement. Dans le futur, il sera opportun d'étudier la possibilité de réaliser un isolant topologique photonique de type Z_2 , supportant des courants de spins unidirectionnels, sans champ magnétique appliqué. Une possibilité prometteuse est liée à l'utilisation comme milieu actif au sein de microcavités des nouveaux semiconducteurs 2D hexagonaux (MoS_2 etc.), et d'hétérostructures de Van der Waals. Un accent particulier sera mis sur l'étude des modes polaritoniques dans ces nouveaux systèmes.

Le deuxième axe est centré sur les propriétés des fluides quantiques de lumière dans les systèmes possédant une structure de bandes topologiquement non-triviale, un domaine très prometteur et complètement vierge actuellement. Cette activité est liée à de nombreuses collaborations nationales et internationales et le groupe théorique était impliqué dans deux propositions de projet ITN Marie Curie Clermont 7 et Spin-optonics2, en tant que partenaire et coordinateur de ces projets. Ces deux propositions ont été rejetées avec des notes de 92 et 91/100 respectivement et seront resoumises au prochain appel d'offres.

- Semiconducteurs à grand gap (GaN, ZnO)

Cavités à miroirs de Bragg pour la Polaritonique à température ambiante et VCSEL

Un axe de recherche, initié il y a quinze ans au LASMEA, mais toujours en plein développement, concerne l'utilisation de semiconducteurs à grand gap (GaN, ZnO) pour la réalisation de composants polaritoniques fonctionnant à 300K. Cette activité est menée sur un plan théorique et expérimental. Elle est soutenue pour l'aspect GaN par le LabEx GaNeX.

Ces activités seront menées en collaboration étroite avec le CRHEA, le L2C et le LPN. Nous envisageons de resoumettre un projet ANR avec ces partenaires avec pour but la réalisation d'un démonstrateur de laser à polaritons à base de GaN ou ZnO injecté électriquement et fonctionnant à température ambiante.

Un deuxième objectif concernera la réalisation d'une structure laser de type VCSEL (vertical cavity surface emitting laser) à base de nitrures émettant dans l'UV à 280 nm injectée optiquement. Ce type de composant n'a jusqu'à présent pas été encore réalisé dans cette gamme de longueurs d'ondes.

En support à ces deux objectifs : (i) les interactions polariton-polariton seront étudiées via la mesure du temps de déphasage par spectroscopie non-linéaire de mélange à quatre ondes dégénérées. Des expériences de cohérence spatiale dans l'UV permettront de confirmer l'existence d'un condensat polaritonique à température ambiante ; (ii) La spectroscopie approfondie de puits quantiques AlGaIn/AlGaIn à forte concentration d'aluminium permettra d'appréhender les propriétés optiques de ces hétérostructures du point de vue de l'ordonnement des états électroniques en fonction de leurs symétries qui joue un rôle crucial sur l'émission laser en mode transverse électrique.

Nanofils d'(In,Ga)N élaborés par épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures

Des travaux de spectroscopie débutés récemment viseront à analyser les propriétés optiques en fonction des conditions de croissance de ces structures réalisées par le thème MINAMAT de l'Axe PHOTON de façon à assurer un retour d'informations fiables en vue de l'amélioration des nanostructures. Le couplage fort

lumière-matière fera également l'objet d'une attention particulière dans ces nouveaux ternaires élaborés à l'échelle nanométrique.

Microfils de ZnO

L'effet laser à polaritons sera également recherché dans des nanofils à base de ZnO injectés électriquement lors d'une collaboration entre le CRHEA et l'Institut Néel qui va débiter en septembre 2015.

Réseaux de fils de ZnO

Des réseaux de piliers hexagonaux pour la réalisation d'isolants topologiques photoniques seront considérés théoriquement, fabriqués par le CRHEA et étudiés expérimentalement.

Circuits polaritoniques, polaritonique intégrée

Une vaste gamme de composants polaritoniques (commutateur, amplificateur) déjà réalisé à base de GaAs, mais cette fois fonctionnant à température ambiante grâce à l'utilisation des grands gaps sera étudiée. Le potentiel des modes guidés en remplacement des modes de cavité planaire ouvrira une voie supplémentaire à la réalisation de circuits polaritoniques.

Plasmonique et Métamatériaux

La plasmonique est un domaine qui tient actuellement une part importante dans les développements théoriques et technologiques. A moyen terme, ce sujet aura pour vocation d'être un élément fédérateur pour les activités de recherche en électromagnétisme de PHOTON. Notre stratégie s'appuie sur une expertise théorique de premier plan à partir de laquelle nous souhaitons construire des collaborations solides à l'échelle nationale et internationale. Le développement de nouvelles méthodes numériques pour la simulation électromagnétique de structures métal-diélectriques qui prennent notamment en compte de nouveaux effets physiques (comme la non-localité électronique) ainsi que les travaux sur les métamatériaux sont en particulier des atouts permettant de nous positionner de manière originale dans ce domaine de recherche. Le projet ANR PGP en est l'illustration exemplaire avec les liens que nous avons tissés avec Duke University aux USA, l'ITT en Italie et de nombreuses universités françaises. L'avancée de ce projet montre la richesse de la physique des gaps plasmon et l'étendue des applications potentielles comme la détection de molécules biologiques dans le visible et l'infrarouge, l'extraction de lumière pour des structures dédiées à l'éclairage, ou encore l'intensification de l'interaction lumière-matière avec les matériaux 2D. Ces sujets seront abordés dans le cadre de collaborations qui nous espérons seront soutenues par l'ANR ou de manière plus ambitieuse via le montage d'un projet Européen. A l'échelle régionale, le regroupement de la région Auvergne et de la région Rhône-Alpes ouvre des opportunités avec des partenaires du laboratoire Hubert Curien à Saint Etienne. Des discussions ont fait apparaître des synergies au niveau de la caractérisation électromagnétique de milieux complexes ou encore de l'étude et de la réalisation de méta-surfaces incluant des matériaux magnétiques pour des applications télécom dans le domaine millimétrique. Un projet d'envergure entre chimistes (Institut de Chimie de Clermont-Ferrand), théoriciens et expérimentateurs du thème N2 a également fait l'objet d'une demande auprès de la région qui n'a pas aboutie cette année. Il concerne l'extraction de lumière de couches luminescentes assistée par nanoantennes (effet Purcell) avec des visées applicatives dans le domaine de l'éclairage. Cette activité fédératrice vise à (i) l'analyse de l'exaltation de fluorescence par le suivi de la cinétique de désexcitation aux temps courts (via une streak camera à acquérir en 2016 via le CPER), (ii) la mesure du diagramme de rayonnement angulaire de l'intensité lumineuse. Ces mesures permettront de valider les approches envisagées pour augmenter l'extraction de lumière.

MINAMAT

Croissance de nanostructures et de nanofils à base de matériaux nitrures

L'activité d'épitaxie des semiconducteurs nitrures par procédé HVPE est inscrite parmi les thématiques du LabEx GaNeX (2012-2019). La démonstration récente de la synthèse de nanofils InGaN à composition variable contrôlée en In place l'Institut Pascal parmi les leaders mondiaux de l'épitaxie de ce matériau dont la demande est forte dans le contexte concurrentiel de l'éclairage. L'atout majeur du procédé HVPE, grâce aux précurseurs spécifiques *chlorés* utilisés, réside dans la possibilité de synthétiser l'InGaN à basse température, compatible avec une forte incorporation d'indium. Des caractérisations structurales de ces nanofils sont menées à l'INAC de Grenoble et la démonstration de la faisabilité de la synthèse de nanofils InGaN à faible densité de défauts permettra des études par spectroscopies optiques par le thème N2 de Photon. En vue de la fabrication de composants optoélectroniques, l'IP travaillera avec le CEA-LETI sur la réalisation de LEDs hybrides cœur/coquille HVPE/MOVPE avec des reprises de croissance MOVPE réalisées au CEA-LETI sur des cœurs réalisés par HVPE à l'IP. Un projet a été construit avec le CEA-LETI, l'Institut Néel et l'INAC pour l'AAP ANR 2015 ("ChromaGaN", non lauréat) qui restera comme base de collaboration. Des discussions autour d'un projet de réalisation d'un laboratoire sans murs ont été initiées avec le CEA-LETI. Sur le plan international, une collaboration avec le Pr. Amano de l'Université de Nagoya au Japon est engagée depuis 2015 et les résultats de croissance sélective de nanofils de GaN obtenus dans le cadre de l'ANR FIDEL

permettent d'envisager la croissance de réseaux denses de nanofils de GaN sur substrats silicium, pour le développement de composants pour l'énergie photovoltaïque. Un projet formalisant cette collaboration entre l'Institut Pascal et le laboratoire du Pr. Amano a été soumis au CNRS et à la JSPS.

Croissance et passivation de nanofils semiconducteurs III-V

Fort de son expertise en croissance par procédé HVPE pour la réalisation de nanofils III-V à haut rapport de forme et en passivation de surfaces, l'IP poursuit ses études sur les nanofils semiconducteurs III-V classiques ultra-longes tels que : des nanofils GaAs quantiques (diamètre < 20 nm) ; des nanofils InP et des structures en géométrie core/shell de type GaInAs/GaAs. Des études théoriques de modélisations thermodynamique et cinétique de la croissance de III-V par HVPE avec le Pr. V. Dubrovskii de l'Institut IOFFE (St Petersburg) viendront appuyer ce travail. A ce jour ces recherches sont contractualisées via un accord de collaboration consolidé (2015-2018) avec l'université internationale ITMO (St Petersburg). En ce qui concerne les nanofils de GaAs, leur passivation est un réel enjeu qui permettra de limiter les vitesses de recombinaison de surface et de favoriser la diffusion des porteurs de spin sur de grandes longueurs. Des études fines en spectroscopies électroniques de surface seront menées pour étudier différentes méthodes de passivation par plasma en environnement ultra-vide. Ces études expérimentales seront supportées par des études théoriques basées sur des modélisations thermodynamiques à l'aide de la combinaison des méthodes orientées densité (DFT), y compris dynamique et Monte Carlo quantique (QMC) pour lesquels une collaboration avec l'Université Tampere de Finlande (Prof. T. Rantala) est en cours de dépôt. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet CPER (2016-2019) qui apportera un support financier doctorant et l'équipement pour mener à bien ce projet. Afin de démontrer les enjeux de ces différentes structures, une collaboration avec le laboratoire PMC (UMR CNRS/Ecole Polytechnique 7643) est d'ores et déjà engagée pour l'étude des mécanismes de diffusion de spin dans les nanofils ultra-longes qui constituent des objets à géométrie unique pour ces études de physique fondamentale. Un projet ANR ("Paulistrass", coordination D. Paget, laboratoire PMC) non lauréat de l'AAP 2015, constitue la base de la collaboration avec le LPCNO de Toulouse, l'EMN de Lille et l'Institut IOFFE (St Petersburg) sur ce sujet. Un programme d'échange de recherche franco-russe (PRC 2015-2018) entre le laboratoire PMC, l'Institut IOFFE et MINAMAT est également proposé.

Etudes par simulations Monte Carlo

Les techniques Monte Carlo sont à la base de deux projets différents. Ces techniques probabilistes nous ont permis d'étudier le cheminement des électrons dans la matière. Le thème MINAMAT souhaite poursuivre et finaliser le développement de techniques d'analyse de surface basées sur ces électrons élastiques et inélastiques, notamment avec *l'imagerie élastique* que nous souhaiterions intégrer dans un microscope électronique à balayage. L'expertise théorique sur les probabilités d'interactions électroniques sera développée en collaboration avec le Pr. N. Pauly de l'Université Libre de Bruxelles partenaire d'un projet PICS 2015 en cours d'évaluation. Ces études seront, de plus, un appui important pour le thème N2 concernant les plasmons de surface. Le deuxième projet concerne l'étude de barrières d'activation pour la catalyse hétérogène. Celui-ci est notamment soutenu par un contrat ERC (2014-2019) avec l'Université de Leiden (Pays Bas). Cette étude permettra à MINAMAT d'intervenir sur le développement du logiciel QMC CASINO (GB), principalement dans les phases de codage et de tests en collaboration avec N.D. Drummond (Lancaster) et M.D. Towler (Cambridge).

Systèmes & Micro-Systèmes Capteurs Chimiques

Les perspectives sont distribuées suivant deux approches complémentaires :

Un volet *amont* orienté sur le développement de dispositifs capteurs originaux destinés à la levée de verrous technologiques tels que le développement de nano-structures visant à la sélectivité dans la détection de Composés Organiques Volatiles (COV) comme les BTX (Benzène Xylène Toluène). Ce travail est soutenu par un projet PEPS interdisciplinaire ASTHMAA (Analyse Sélective des Teneurs en Hydrocarbures Mono-Aromatiques de l'Air) du CNRS permettant de conceptualiser des systèmes-capteurs originaux dont l'une des briques technologiques repose sur l'implémentation d'une matrice nanocarbonee fonctionnalisée. A partir de ces résultats, nous envisageons de développer des nanostructures propres à dispenser des réponses différenciées vis-à-vis des composés visés. L'objectif majeur est d'atteindre une grande sélectivité de mesure, propriété qui fait aujourd'hui défaut à l'ensemble des structures capteurs. Par la suite, nous envisageons de travailler à l'exploitation de nanofils III-V réalisés à l'IP en tant que structure hybrides pour la détection de COV. L'objectif est de tirer le meilleur parti de la surface spécifique apportée par les nanofils et de les fonctionnaliser avec des composés organiques particuliers de manière à envisager une sélectivité optimale. La transduction devra alors être adaptée aux dispositifs obtenus ; un projet sera soumis à l'ANR dans le prochain appel à projet (coordinateur IP) dont l'objectif sera la détection sélective des hydrocarbures.

La deuxième approche est propre aux *valorisations* de nos recherches. Le projet de maturation de la SATT Grand-Centre visant au développement de systèmes capteurs destinés à la détection sélective du dioxyde

d'azote est en cours d'expertise. Au cours de ce projet de trois ans, nous envisageons de travailler au développement de systèmes capteurs permettant la mesure sélective des deux composés NH_3 et H_2S très présents au sein des dispositifs agricoles d'élevage ou au sein de stockage de matières organiques pouvant conduire à décomposition aérobie ou anaérobie (algues vertes, réacteur de valorisation de produits organiques, stockage de matière organique...). Les seuils d'alerte sont très souvent dépassés au sein de ces espaces industriels et les dispositifs de mesure ne permettent pas de faire des mesures sélectives. Ces structures sensibles innovantes auront pour vocation d'apporter cette sélectivité qui fait actuellement défaut afin de permettre de faire les bons diagnostics. Ces travaux sont appuyés par l'action COST TD1105 – EuNetAir et le Cluster européen ESSC (European Sensor System Cluster 2014-2017), dont les objectifs sont de renforcer les travaux collaboratifs et en réseau, d'établir une plateforme européenne d'échange pour les scientifiques et industriels partenaires et de relever les principaux challenges technologiques dans la thématique des systèmes-capteurs.

Systèmes & Micro-Systèmes Capteurs : Métrologie pour Bioréacteurs

Action inter-Axes : PHOTON/MINAMAT et GePEB

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

Fonctionnalisation de nanofils ultra-longes : nouvelle génération de nano-capteurs pour la bioélectronique

Action inter-Axes : PHOTON/MINAMAT et GePEB

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

CEM

Fort du bilan de ses réalisations et de ses travaux reconnus nationalement et internationalement, le thème CEM prévoit de mener les projets suivants :

Perturbations électromagnétiques (EM)

Cette activité centrale du thème CEM continuera à être un des axes forts des recherches que cela soit dans les systèmes d'énergie ou de communication, aussi bien au niveau numérique (modélisation) qu'expérimental. Dans ce contexte, l'analyse et le contrôle des champs EM dans des environnements complexes (e.g. véhicules, systèmes électroniques à haute densité, cavités, diagnostic filaire, blindages) reste une priorité pour les années à venir en lien avec des besoins socio-économiques forts (collaboration SAGEM, Tresse Industrie,...). Le traitement majoritairement dans le domaine fréquentiel de ce problème, conjointement avec l'augmentation des fréquences d'utilisation des systèmes, laisse des perspectives prometteuses pour des études innovantes dans le domaine temporel. On peut notamment penser au développement de modélisation et systèmes expérimentaux temporels de mesure (champ proche) avec des partenaires régionaux (Polytech Clermont-Ferrand), nationaux (Univ. Bourgogne) et internationaux (Univ. Nottingham), l'identification temporelle de profils de sources équivalentes de rayonnement en s'appuyant sur des méthodes développées au sein de l'équipe : retournement temporel, LCCF, matrix pencil (Action dans le CPER-MMaSyf 2016-2019 ; proposition de projet ANR ICSEM franco-suisse ; PHC Volubilis ; COST ACCREDIT ; projet de PHC avec l'Université de Liège).

L'enjeu de la cohabitation des électroniques dans le cadre de l'amélioration du rendement des systèmes de conversion d'énergie embarquée pour les véhicules du futur continuera d'être étudié (LabEx IMobS3, collaboration EFI Automotive, Sattgc, France Brevets).

Bio-CEM

Les perspectives qu'offre cette activité pluridisciplinaire pour laquelle le thème CEM est un acteur bien identifié depuis plusieurs années seront développées (COST EMF-MED). A cet effet, le cadre privilégié apporté par le laboratoire de recherche conventionné avec le CEA DAM est, d'un commun accord, maintenu. En partenariat avec des biologistes (Univ. Angers), il permettra de mener des recherches sur les effets potentiels des ondes électromagnétiques sur le vivant. En particulier les senseurs identifiés en CW seront étudiés pour des stimulations de divers modèles biologiques par des sources pulsées rayonnées de forte énergie (Univ. Pau). Dans le cadre de la fusion des universités clermontoises, des recherches entre notre laboratoire et des équipes de médecine ont été initiées. La méthode Matrix Pencil a ainsi été choisie pour mieux identifier les différentes composantes de l'activité neuronale et mettre en évidence des biomarqueurs qui seraient spécifiques d'un état douloureux ou non douloureux (Projet PEPS interdisciplinaire avec l'équipe Neurodol UMR 1107 Inserm/UdA). De même, un projet pluri annuel a été lancé avec l'équipe IGCNC (EA 7282 /UdA), qui devrait rejoindre l'IP, sur la simulation du champ électrique produit lors de la stimulation cérébrale profonde.

CEM Stochastique

L'avance du thème CEM sur cette activité transversale sera maintenue à travers divers projets académiques et industriels. En premier lieu, la fructueuse collaboration interne à l'IP avec des probabilistes (thème MPMS de l'Axe MMS) sera poursuivie dans la continuité des travaux conjoints actuels (approches stochastiques, fiabilité, analyse de sensibilité). Nous avons identifié des problèmes importants de CEM (torons de câbles, cas 3D avec frontière incertaine,...) qui nécessiteront des développements spécifiques des approches stochastiques appliquées avec succès sur des cas simples. Dans un second temps, fort de l'expérience et de la réputation acquise par notre groupe et conscient de l'importance à venir de ce nouveau thème de recherche en CEM nous prévoyons à moyen terme de déposer des projets communs avec d'autres équipes nationales ou européennes (e.g. Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, Univ. Nottingham, Univ. Split ...). L'IETR (UMR 6164) a par exemple identifié dans son propre bilan HCERES l'équipe CEM de l'IP comme partenaire privilégié sur ces recherches. Enfin, les sollicitations récentes d'industriels ou de centres de recherches (ANSSI, CNES, DGA, Thalès, Nexio, LABINAL,...) pour prendre en compte efficacement les incertitudes dans leurs problèmes EM nous amèneront très certainement à nous engager dans des programmes et/ou contrats de recherche collaborative.

Ces trois axes principaux de recherche ne sont pas cloisonnés et toute avancée dans l'un bénéficiera aux autres. Par ailleurs, les moyens expérimentaux importants du thème participeront à l'ensemble de ces futures activités de recherche.

Compatibilité électromagnétique en environnements stochastiques complexes

Action inter-Axes : PHOTON/CEM et MMS/MPMS

Voir section Actions inter-Axes interdisciplinaires

Conclusion et perspectives inter-thèmes de PHOTON

Une part importante des projets scientifiques mentionnés précédemment sont ou seront implémentés dans le cadre de financements régionaux, ANR ou européens. Au niveau des projets régionaux, les taux de succès sont potentiellement assez bons. Toutefois, les fléchages fortement liés à la stratégie de spécialisation S3 de la région Auvergne réduisent l'accès à ces financements pour N2 et une partie de MINAMAT. Par ailleurs, les taux de succès extrêmement faibles des projets ANR et européens rendent difficiles toute tentative de projection pour le futur. On peut espérer que la fusion avec la région Rhones-Alpes permettra d'élargir les thématiques éligibles aux appels d'offres régionaux, et de valoriser nos très nombreux liens avec des laboratoires de Saint Etienne (Hubert Curien), Lyon (INL), ou Grenoble (Neel, INAC, LETI). Concernant le thème CEM, la part importante de son activité menée dans le cadre de projets industriels et de valorisation se poursuivra dans le futur. Deux brevets concernant les thèmes CEM et MINAMAT sont d'ailleurs en cours de maturation en partenariat avec la SATT Grand Centre. Plusieurs projets sont également en cours de développement avec le futur Axe de technologie médicale TGI. Ces prochaines collaborations ouvrent de nouvelles perspectives de recherches et d'applications à l'interface des nanosciences et de la médecine et permettra de répondre à de nouveaux appels d'offre.

Notre activité s'appuiera également sur les Projets d'Investissement d'Avenir :

- le **Labex Ganex** (2011-2020) sera actif au cours des cinq prochaines années. Il représente une opportunité majeure de collaboration, de visibilité et de financement pour plusieurs activités de N2 et MINAMAT.
- Le **Labex IMobS3** (2010-2019) : les cœurs de métier de PHOTON ne sont pas inclus dans les activités du LabEx IMobS3, l'Axe apparaissant ici davantage comme un prestataire de service scientifique. Cette activité de prestation représente néanmoins un soutien financier non négligeable d'activités transverses. Ceci a permis de développer des collaborations entre PHOTON, l'Axe GePEB et l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, mais aussi entre le thème CEM et l'Axe MMS de l'Institut Pascal.

Le **projet I-Site Cap2025** : pour l'heure les activités de PHOTON ont été sélectionnées localement et sont incluses dans le volet SPI2 du projet cours qui a franchi la première étape de sélection.

Nous envisageons de renforcer la cohérence et la cohésion scientifique de l'Axe par le **dépôt de projets structurants** au sein de PHOTON :

- **Projet ERC Advanced Grant *Strong light Matter coupling New physics for new devices***. Nous pensons posséder le niveau d'excellence requis pour répondre avec une chance de succès raisonnable aux appels d'offre ERC Advanced Grant. La thématique du projet serait l'étude du potentiel des différentes formes de couplage fort lumière matière, à savoir la polaritonique excitonique et la polaritonique plasmonique. Le projet impliquerait la totalité de N2, une partie de MINAMAT, soit environ 50% de l'Axe (les activités à fort caractère fondamental). Il pourrait également impliquer des partenaires extérieurs, tels que le CRHEA.
- **Projet Plasmonique pour l'éclairage**. La plasmonique combinée aux concepts issus des métamatériaux offre des solutions nouvelles pour à la fois exalter la luminescence des fluorophores et favoriser l'extraction de la lumière des LED. Nous entendons soumettre plusieurs projets ANR et européen afin de mettre en œuvre les savoirs faire des thèmes N2 et MINAMAT mais aussi l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF) dans l'objectif de réaliser de nouvelles sources d'éclairage.

Axe Thérapies guidées par l'Image

La stratégie proposée en 2015 à cinq ans pour 2017-2021 repose sur la reconfiguration de l'UMR 6284, l'EA 7282 et l'EA 4681 en un Axe technologique médical de l'Institut Pascal, avec le soutien de l'Université d'Auvergne, de l'Université Blaise Pascal et du CNRS. L'objectif général est de rendre plus efficaces et plus lisibles les actions de recherche de TGI et de l'IP, au plan national et international, au travers de la future région Rhône-Alpes-Auvergne (2^{ème} région de France et 6^{ème} d'Europe).

Objectifs généraux

La stratégie de reconfiguration s'appuie sur le fort potentiel applicatif du thème scientifique, en adéquation avec les enjeux médico-économiques actuels. Les équipes de l'Axe sont immergées dans les services de soins du CHU de Clermont-Ferrand (cf. tableau), et sont au cœur des applications et perspectives dans leurs domaines SVE et ST, au plan national et international. Ces équipes cliniques font partie de l'axe technologies médicales, l'un des quatre axes de recherche clinique identifiés au CHU de Clermont-Ferrand (cf. Bilan HCERES de l'établissement).

Services cliniques du CHU de Clermont-Ferrand	Personnels universitaires ; médecins non universitaires (total)	Patients (RUM) ; année 2014
gynécologie (Med, Chir)	5; 11 (16)	4361
chirurgie digestive	4; 7 (11)	6407
cardiologie médicale	7; 20 (27)	10 562
chirurgie cardiaque	2; 7 (9)	2685
radiologie (globale)	6 ; 29 (35)	n.a.
hépato-gastro-entérologie (Med)	6; 7 (13)	3625
neurochirurgie	6; 6 (12)	3114
obstétrique	2; 17 (19)	9327
pédiatrie (Med)	6; 40 (46)	6015
médecine Interne (Estaing)	2; 6 (8)	1777
Total équipes médicales TGI	46 / 150 (196)	47 873

Les technologies pour la santé ont un fort potentiel de développement en soin avec d'importantes retombées économiques. L'Axe peut générer des développements (breakthrough et incréments) en se concentrant sur les quatre secteurs applicatifs dont il a la maîtrise. TGI dans le cadre de l'IP souhaite devenir à moyen terme un acteur international lisible en innovation technologique d'instrumentation médicale et de diagnostic. Le court terme sera utilisé pour coordonner les actions en cours et lancer les programmes. Les perspectives sur les actions en cours sont déclinées par thèmes (cf. infra). Nous souhaitons favoriser les actions interdisciplinaires ciblées, faisant preuves d'une dynamique et/ou porteuses d'une forte lisibilité et activité, notamment en transfert.

L'Axe s'est construit pour amplifier l'approche interdisciplinaire autour des points remarquables à la croisée des champs applicatifs et transversaux. Ce croisement facilité des compétences apportera en lui-même une valeur ajoutée scientifique importante par rapport aux équipes actuelles. L'intégration dans l'Institut Pascal amène aussi une valeur ajoutée importante, augmentant le potentiel de fertilisation croisée, avant tout technologique. L'Axe TGI se présente donc comme l'Axe applicatif médical au sein de l'Institut Pascal.

Les reconfigurations des universités et des régions favorisent la stratégie de l'Axe TGI ; les risques sont plutôt liés à la double reconfiguration des équipes en un Axe et dans le même temps l'intégration de cet Axe à l'IP. Ceci doit donc être accompagné au démarrage par les institutions, notamment académiques et territoriales, pour faciliter la mise en route des actions de recherche et l'organisation de l'Axe. L'objectif est d'obtenir essentiellement de l'aide aux recrutements de personnels et surtout de chercheurs EPST.

L'anticipation des moyens, financiers et humains, passe entre autre par la réponse aux appels d'offres ciblés. Nous devons surtout développer notre capacité à porter des projets d'envergure, notamment au niveau européen. Le recours à des partenaires externes, institutionnels ou non, publiques et privés, doit être favorisé pour lever des fonds, accélérer les processus de production scientifique et favoriser la diffusion des réalisations, en gardant la dimension interdisciplinaire. Une partie importante des fonds passe par des partenariats public-privé dont les équipes de l'Axe ont l'expérience. L'intégration à l'IP doit offrir une

meilleure visibilité ouvrant à des partenariats plus importants. Nous souhaitons mettre en place une organisation spécifique transversale (personnel dédié) au sein de l'IP pour le montage des dossiers en s'appuyant sur les pôles recherche, de l'Université d'Auvergne, de l'Université Blaise Pascal et du CNRS, ainsi que celle du CHU de Clermont-Ferrand.

Nous avons aussi besoin de nous intégrer plus fortement dans le tissu académique et industriel de la future région Rhône-Alpes-Auvergne, par des travaux collaboratifs, notamment au travers de réseaux d'excellence, et des transferts industriels. Dans ce sens, TGI au travers de l'IP, est un acteur du projet de Fédération Hospitalo-Universitaire (FHU) Innovative Imaging and Interventions (3i) porté par le CHU de Grenoble (coordinateur, Ph. Cinquin (Grenoble) ; adjoints, G. Vanzetto (Grenoble), C. Lafon (Lyon), MH. Lafage-Proust (St Etienne), et JJ Lemaire (Clermont Ferrand).

Adaptation aux enjeux et projet de l'Axe

L'Axe TGI a choisi de développer un projet global, *l'enrichissement des procédures personnalisées (ENR_PROPERS) en diagnostic, planning pré procédure, navigation intra procédure, intégration des informations post procédure, et analyse d'impact*. C'est un projet à la fois ambitieux et réaliste, ciblé et parfaitement adapté aux enjeux applicatifs médicaux. Il s'appuie sur des compétences existantes et s'ouvre à des opportunités de collaborations nationales et internationales. ENR_PROPERS représente un important champ de recherche méthodologique, technologique et applicatif, adossé aux actions des thèmes. Il apporte une plus-value importante à la reconfiguration TGI et offre un fort potentiel d'interactions avec les autres axes de l'IP. Nous mettons ainsi en commun les compétences des 4 thèmes pour développer des actions communes, notamment à partir de l'amélioration des images, et la réalité et la virtualité augmentées. L'Axe stratégique scientifique central se place sur l'enrichissement du contenu bio-anatomique. *Notre objectif sur cinq ans est de créer une plateforme d'intégration des informations sur l'organe, le patient et son environnement, notamment celui des salles d'opération et interventionnelles, vers une approche macro théranostique*. Un des points clés est la contextualisation de l'enrichissement, jusqu'à la prise en compte des déplacements et modifications (tissus, organe, patient) et des lésions associées aux procédures, et ce en temps réel. ENR_PROPERS est aussi une opportunité pour étendre l'interdisciplinarité notamment avec d'autres acteurs du site clermontois dans le domaine scientifique Sciences Humaines et sociales (SHS) pour l'évaluation et l'amélioration des pratiques et des instruments (LAPSCO, UMR 6024 CNRS).

ENR_PROPERS permet aussi de croiser les domaines de compétences en interdisciplinaire et en intra disciplinaires, au sein des sciences et technologies et au sein des sciences du vivant et de l'environnement : par exemple la simulation dynamique d'organes (mouvements, déformations, fonctions), la navigation endoscopique pour les cavités et organes creux (exemples appareil digestif et ventricules cérébraux), la navigation cartographique pour les organes pleins (exemples cerveau, foie, ovaire) et la macro théranostique (exemples de guidage par marquage tissulaire, analyse de texture, cartographie fonctionnelle, permettant de faire aussi de faire le diagnostic d'une pathologie).

Stratégie opérationnelle

L'année 2015 permet de réaliser la reconfiguration et de s'intégrer rapidement progressivement dans l'organisation de l'IP jusqu'à l'expertise de fin d'année. Nous participons ainsi au conseil scientifique, aux assemblées générales et animations dans l'IP.

L'année 2016 sera dédiée à la mise en place des moyens organisationnels (comités; séminaires le jeudi après-midi de 16h30 à 18h30, 1 fois/2 mois) et à la définition et au lancement des premiers projets transversaux interdisciplinaires (désignation de porteurs de projets), dans l'Axe et au sein de l'IP.

La politique scientifique a été dans un premier temps de travailler en partenariat avec les deux universités actuelles, UDA et UBP, sous la recommandation du CNRS organisme de tutelle de l'IP, pour positionner la reconfiguration en adéquation avec la politique de site jusqu'à la future Université Clermont Auvergne (UCA).

Un important travail a été réalisé par tous les acteurs impliqués dans la reconfiguration, avec l'aide des tutelles universitaires, pour mettre en place l'évaluation et la prospective, permettant de répondre aux enjeux, avec une forte réactivité compte tenu de la double stratégie imbriquée, reconfiguration pour créer l'Axe et intégration dans l'IP. La mobilisation des acteurs a permis de présenter les principes de la stratégie en mai et juin aux instances recherche de l'UDA et de l'UBP. Nous coordonnons progressivement les actions vers une cohérence scientifique partagée.

Le projet ENR_PROPERS se fonde complètement dans la stratégie générale de rayonnement et attractivité, d'interaction avec le milieu, d'organisation, et dans l'implication dans la formation de l'Axe et au sein de l'IP. Par exemple dans la formation nous pourrions renforcer au sein de l'UCA, le master technologie-santé, et envisager d'étendre la formation en partenariat avec d'autres entités de recherche régionales.

Perspectives sur les actions du thème ALCoV/EnCoV

Pour le futur contrat quinquennal, ALCoV mute en EnCoV. Le changement de « Advanced Laparoscopy » vers « Endoscopy » met en conformité le nom et les activités de l'équipe et reflète son ouverture vers un nouveau thème interdisciplinaire. EnCoV projette de poursuivre ses trois axes principaux de recherche : fondamentale, clinique et interdisciplinaire. Les résultats obtenus sur le contrat quinquennal actuel permettront de renforcer l'articulation entre ces trois axes. La recherche fondamentale se recentre ainsi sur la vision par ordinateur en environnement déformable, alors que la recherche interdisciplinaire actuelle en chirurgie gynécologique et endoscopie digestive est enrichie par la chirurgie hépatique. Le bilan scientifique d'ALCoV est très positif, et se reflète dans nos perspectives de travail pour EnCoV. Ces dernières montrent comment s'affine l'articulation intime entre nos trois axes de recherche, et combien il est important que les axes de recherche fondamentale et clinique puissent préserver leur reconnaissance respective, tout en convergeant vers l'Axe interdisciplinaire.

Recherche fondamentale en vision par ordinateur

Pilotage : A. Bartoli ; *Autre permanents* : aucun ; *Associés* : D. Pizarro (Université d'Alcala)

ALCoV a acquis une reconnaissance internationale dans le domaine de la reconstruction 3D, c'est-à-dire de la perception de la forme 3D d'un environnement à partir d'une ou plusieurs images. Plus particulièrement, nous avons développé le concept de Shape-from-Template (SfT), qui permet d'utiliser une mémoire visuelle pour la reconstruction 3D à partir d'une seule image (Bartoli et al, PAMI 2015). SfT est un concept important dont nous souhaitons poursuivre l'étude. En parallèle, ALCoV contribue activement à l'étude du Non-Rigid Structure-from-Motion (NRSfM) qui consiste à reconstruire la forme 3D d'un objet à partir d'un flux vidéo monoculaire sans utiliser pour le moment de mémoire visuelle (Chhatkuli et al, BMVC 2014). ALCoV a particulièrement étudié le cas des objets minces dont la déformation est isométrique, tel une feuille de papier ou une pièce de tissu. Pour le nouveau contrat quinquennal, EnCoV souhaite aborder les problématiques suivantes liées au SfT et au NRSfM :

- *Déformations non-isométriques et discontinuités ;*
- *Théorie des estimateurs, modèles et contraintes infinitésimaux ;*
- *Liens entre SfT, NRSfM et détection d'objet.*

Ces problématiques de recherche communes au SfT et au NRSfM seront complétées par les suivantes, plus spécifiques :

- *RT-SfT (Real-Time Shape-from-Template) ;*
- *UA-NRSfM (User-Aided Non-Rigid Shape-from-Motion).*

EnCoV poursuivra l'exploration des thèmes suivants dans le contexte de la reconstruction 3D déformable : la combinaison d'indices visuels variés (tel le déplacement optique, l'ombrage et le flou optique), la sélection de complexité (en particulier les méthodes de validation croisée) et la géométrie projective algébrique et différentielle pour la modélisation des capteurs optiques, des surfaces rigides et déformables, en vue de la construction d'une théorie de la géométrie mono- et multi-images des environnements déformables.

Recherche interdisciplinaire en assistance au diagnostic et au geste interventionnel en endoscopie

Pilotage : A. Bartoli, M. Canis, E. Buc, A. Abergel ; *Autres permanents* : C. Tilmant, N. Bourdel, B. Leroy, L. Poincloux ; *Associés* : D. Pizarro (Université d'Alcala)

- *Assistance au geste en coelochirurgie utérine par réalité augmentée.* ALCoV a mis au point un prototype temps réel recalant un volume IRM pelvien préopératoire sur la vue coelioscopique per opératoire. Cette première étape, très technique, a nécessité de résoudre plusieurs problèmes fondamentaux en vision par ordinateur, et notamment la détection de l'utérus et des trompes de Fallope servant au recalage avec l'IRM (Prokopetc et al, IPMI 2015), la segmentation de l'utérus (Collins et al, MICCAI 2015) et son suivi dans le flux vidéo coelioscopique (Collins et al, ISMAR 2014). EnCoV souhaite permettre une mise en œuvre clinique de la technique développée. La première étape sera une validation sur la chirurgie des fibromes de l'utérus. Nous pouvons aider le chirurgien à les localiser, notamment lorsqu'ils sont petits (entre 5mm et 1cm) et difficilement repérable sur l'anatomie de la patiente. Le développement d'un prototype plus avancé permettra de déployer le système sur plusieurs centres hospitaliers et de réaliser un protocole d'évaluation des bénéfices cliniques. La technique sera ensuite améliorée par l'adjonction de fonctions de visualisation avancées, permettant au chirurgien d'annoter le modèle d'organe préopératoire et la vidéo coelioscopique, tout en visualisant l'annotation sur les deux modalités simultanément. Cette fonctionnalité requiert de nouveaux développements fondamentaux car pour l'instant, seule la correspondance IRM vers coelioscopie a été établie. L'image coelioscopique étant 2D, le passage de cette dernière vers le volume 3D IRM nécessitera la mise en place d'un module d'inférence 3D temps réel. EnCoV proposera par la suite l'étude de l'IRM de diffusion comme modalité préopératoire afin de repérer les fibres musculaires de l'utérus, notamment autour du site d'exérèse. L'utilisation de ces informations en réalité augmentée permettra d'améliorer le geste du chirurgien en lui permettant d'inciser en priorité le long des fibres musculaire.

- *Assistance au diagnostic en endoscopie colorectale par mesure 3D et reconnaissance.* Le diagnostic du degré de malignité d'un polype gastro-intestinal en endoscopie colorectale (coloscopie) se base notamment sur la forme, l'apparence et la taille (Kudo et al, J. Clin. Pathol. 1994 ; Classification de Paris, 2005). Nous souhaitons travailler sur deux aspects de l'assistance au diagnostic des polypes de manière générale: la mesure 3D de leur forme et la reconnaissance automatique de leur type à partir des images coloscopiques.
 - La taille d'un polype est difficile à évaluer à l'œil nu à partir des images monoculaires du coloscope. ALCoV a mis au point en collaboration avec l'IP un logiciel permettant de mesurer la taille des polypes interactivement (Chadebecq et al, MIA 2015) ; il est basé sur une reconstruction 3D simplifiée estimée en utilisant le flou engendré par le déplacement de l'endoscope sur une trajectoire approximativement rectiligne. Cette contrainte sur le déplacement rend son utilisation parfois difficile. Nous souhaitons travailler sur une nouvelle approche qui exploitera le flou sans toutefois nécessiter un déplacement particulier du coloscope (e.g. exploiter la fonction dual-focus présente sur de nombreux coloscopes).
 - Le distinguo entre les différents types de polypes est parfois difficile à réaliser pour le médecin. Nous souhaitons proposer une technique basée sur le traitement d'image et l'apprentissage artificiel permettant à un ordinateur d'aider au diagnostic. Un bénéfice direct du système serait un gain de temps pour les cliniciens (il évite par exemple l'utilisation de la chromo-endoscopie et de la biopsie dans une certaine mesure). Notre système réaliserait en quelque sorte une biopsie virtuelle, distinguant les lésions hyperplasiques, les polypes festonnés et les adénocarcinomes. Les polypes festonnés sont très difficiles à reconnaître de par leur nature hybride (Farris et al, Am. J. Surg. Pathol. 2008), et pourraient être une des causes de cancer (Young et al, Gut 2007).
- *Assistance au geste en coelochirurgie hépatique par réalité augmentée.* La chirurgie hépatique est le seul traitement curatif de nombreuses affections du foie, notamment malignes. C'est une chirurgie grevée d'une morbidité importante évaluée à environ 40% (Breitenstein et al. 2010). Le développement de techniques minimal-invasives telle la coelioscopie est une évolution capitale dans le traitement de ces affections ; elle permettrait de diminuer la morbidité postopératoire, notamment le saignement pendant l'intervention et les complications post-opératoires (Slakey et al. 2013). Cependant, elle n'est réalisée que dans un petit nombre de centres du fait des difficultés techniques qu'elle engendre (Goumard et al. 2015). Les vaisseaux, de même que la plupart des tumeurs hépatiques, ne sont pas visibles à la surface du foie. Le but d'une chirurgie hépatique de qualité est triple ; 1) réduire le saignement à son volume le plus bas possible ; 2) réaliser une exérèse de la(les) tumeur(s) avec une marge oncologique satisfaisante, et 3) éviter le sacrifice inutile de territoires du foie qui risqueraient d'engendrer une insuffisance hépatocellulaire post-opératoire. A l'heure actuelle, la planification du geste chirurgical d'exérèse d'une partie du foie (appelée hépatectomie) repose sur l'analyse des examens d'imagerie préopératoire (scanner et IRM). Ces examens permettent d'élaborer une représentation virtuelle de l'organe, de ces vaisseaux et de la tumeur. Notre projet est de développer un logiciel d'assistance peropératoire par fusion des images scannographiques ou IRM sur l'écran vidéo de coelioscopie, en temps réel. Cette technique permettra d'afficher le modèle 3D du foie en superposition avec l'image vidéo-opératoire réelle de la coelioscopie (réalité augmentée). Le patient devient alors virtuellement transparent, ce qui permet de repérer les vaisseaux et la(les) tumeur(s) intrahépatique(s). Les méthodes existantes au niveau hépatique ne permettent actuellement pas une superposition précise et efficace de la modélisation 3D préopératoire en temps réel, principalement en raison des déplacements et déformations des organes pendant la procédure (Soler et al. 2011). Nous pensons que la réalité augmentée à partir d'images préopératoires sur le foie nécessitera une mise en œuvre technique différente du cas de l'utérus. La correspondance avec l'imagerie préopératoire sera effectuée par des repères anatomiques comme les bords antérieurs, la fessure ombilicale, les ligaments suspenseurs et la vésicule biliaire. Les difficultés spécifiques liées à la réalité augmentée sur le foie pourront être appréhendées grâce aux résultats de l'Axe fondamental d'EnCoV, notamment sur le Shape-from-Template pour les matériaux volumiques non-isométriques. Les bénéfices attendus sont une sécurisation du geste chirurgical par une meilleure reconnaissance des structures vasculaires.

Recherche clinique

Pilotage : M. Canis, E. Buc, A. Abergel ; Autres permanents : S. Matsuzaki, R. Botchorishvili, N. Bourdel, B. Leroy, L. Poincloux ; Associés : B. Rabischong (UMR INSERM 1107).

L'équipe conduit des travaux en gynécologie sur les résultats cliniques de la chirurgie endoscopique (endométriome, prolapsus) sur la physiopathologie de l'endométriome et sur la physiopathologie péritonéale péri opératoire ; et aussi en pathologies digestives, hépatiques et coliques. Ces trois volets sont essentiels. L'endométriome reste mal comprise dans son évolution locale et dans ses causes. L'équipe poursuit ses travaux en particulier sur le rôle de la fibrose et des transitions EMT et TEM dans l'histoire naturelle de la maladie. Des modèles in vitro permettent de tester de nouveaux agents thérapeutiques à partir de résultats expérimentaux, en particulier à partir du rôle possible de la voie de signalisation intra cellulaire Wnt/ β -catenin. La physiopathologie péritonéale peropératoire est un axe capital pour modifier des conséquences

de la chirurgie comme la formation d'adhérences intrapéritonéales, de fibrose rétropéritonéale ou la dissémination de cellules malignes. Très peu d'équipes associent la compétence chirurgicale et la possibilité de mener des travaux fondamentaux. Si on applique le modèle de la douleur à l'amélioration des processus de cicatrisation post chirurgicale on sait qu'il faut agir pendant et probablement dès le début de l'intervention. Des techniques de biologie moléculaire permettent d'évaluer l'impact du geste chirurgical sur le péritoine, pour savoir quand et comment traiter le péritoine. Ces études sont le complément logique et indispensable de travaux sur les bénéfices cliniques d'une diminution de la pression intrapéritonéale ou d'humidification du CO₂.

Perspectives sur les actions du thème CaVITI

Sous-thème Endoprothèses

Les axes 1 *Endovascular analysis of atheroma plaque and coronary stents* et 2 *Interventional planning and assistance for ascending aorta dissections* de CaVITI vont fusionner de façon à renforcer et factoriser les recherches méthodologiques. Cette thématique va s'enrichir de la contribution de l'équipe d'endoscopie interventionnelle et s'ouvrir sur les endoprothèses digestives. Le sous-thème "Endoprothèses", qui en résultera, aura comme objectif de proposer un *framework* de prise en charge – guidé par l'imagerie - des planifications, guidage et suivi des endoprothèses, avec application aux artères coronaires, à l'aorte et aux vaisseaux digestifs.

- *Développements méthodologiques.* ▶ Segmentation et modélisation géométrique : détection de primitives d'intérêt liées aux instruments (cathéters) et aux endoprothèses dans les images interventionnelles et ajustement de modèles continus paramétrant les déformations admissibles. ▶ Recalage non rigide d'images : (1) pour superposer l'information de planification et la vue péroopératoire en prenant en compte les déformations de la structure vasculaire du fait des mouvements cardiaques et respiratoires (angio/CT) et du péristaltisme digestif ; (2) pour superposer des acquisitions endovasculaires entre elles (OCT/OCT) dans le but de suivre dans le temps l'endoprothèse, ou une acquisition endovasculaire OCT avec une référence 3D (micro CT) pour valider la géométrie mesurée en OCT. ▶ Modèles biomécaniques : définition de modèles biomécaniques simplifiés de déformation des endoprothèses et des cathéters et identification de leurs paramètres à partir d'observations cliniques (géométrie de l'endoprothèse déployée à un temps donné, localisation d'un point donné au cours du temps, mesure des efforts...).
- *Développements applicatifs.* ▶ Artères coronaires : les travaux porteront principalement sur l'analyse des stents biorésorbables de la paroi coronaire et de la plaque athéromateuse. Les objectifs sont de mettre au point une analyse automatique de la résorption polymérique, de permettre une analyse quantitative du comportement de ces stents afin d'optimiser les protocoles d'angioplastie des lésions complexes et de développer des algorithmes de détection automatique de la paroi artérielle (collaboration avec le centre cardiologique de Rotterdam). ▶ Aorte : notre objectif est de poursuivre les recherches concernant le traitement endovasculaire des dissections aortiques selon 3 volets. (1) Simulation du déploiement à partir de la géométrie personnalisée de l'aorte du patient pour optimiser le choix de l'endoprothèse lors de la planification. (2) Simulation visuelle et haptique du cathétérisme. (3) Guidage en temps réel du geste en augmentant la vue angiographique avec les structures détectées dans l'imagerie de planification. ▶ Vaisseaux digestifs : à travers une approche interdisciplinaire nous souhaitons renforcer une technique innovante d'approche vasculaire écho-endoscopique maîtrisée par l'équipe (L Poincloux et al. Endoscopy 2015) à partir des développements méthodologiques en cours (fusion de l'imagerie pré-procédure, planification des cibles et simulation de l'implantation par modélisation du foie, des vaisseaux), notamment pour faciliter la réalisation de shunt porto-cave par voie écho-endoscopique (Poincloux et al., AASLD 2014).

Sous-thème Embolisation

Dans ce sous-thème nous allons poursuivre nos travaux de caractérisation tissulaire et modélisation des structures vasculaires pour permettre l'aide à la réalisation et le suivi des embolisations parenchymateuses, notamment dans le cadre de la pathologie fibreuse et cancéreuse du foie.

- *Développements méthodologiques.* ▶ Segmentation et recalage d'images multimodales : extraction du réseau vasculaire hépatique ; recalage d'un modèle de réseau sur un réseau partiel (acquis par IRM ou Scanner) ; prise en compte de multiples modalités pour un seul modèle numérique d'organe. ▶ Simulation de la perfusion hépatique : réalisation d'un modèle numérique pour la simulation vasculaire (vaisseaux et tissus parenchymateux) ; évaluation de l'impact de la fibrose sur la perfusion hépatique ; évaluation de la perfusion tumorale avant et après traitement par embolisation.
- *Développements applicatifs.* ▶ Développement d'une plateforme logicielle. Nous souhaitons établir une interface logicielle permettant d'accéder en pratique clinique à la visualisation et la manipulation des données image (2D, 2D+t, 3D, 3D+t) pour permettre notamment : la planification des chirurgies complexes du foie ; l'analyse des afférences artérielles des tumeurs du foie en vue de traitements intra-artériels ciblés (chimio-embolisation sélective, radio-embolisation) ; le développement de critères quantitatifs de perfusion tumorale qui pourront permettre une

évaluation de la réponse tumorale aux traitements ciblés. ▶ Standardisation des traitements intra-artériels du foie. Les travaux d'évaluation pharmacocinétique des traitements intra-artériels seront poursuivis pour préciser l'impact de l'agent d'embolisation et du site d'injection. Ces résultats seront comparés à un modèle de fibrose hépatique en cours de validation, avant de réaliser une analyse sur un modèle de tumeur hyper vasculaire du foie à mettre au point.

Sous-thème Fonction et ischémie myocardique

L'objectif de ce sous-thème est d'exploiter l'acquis du projet ANR 3DStrain en se focalisant sur deux orientations : détection et suivi de l'ischémie myocardique, et bilan et suivi des asynchronismes cardiaques. En parallèle il s'agira de trouver les bons interlocuteurs industriels pour faire passer les méthodes en pratique clinique une fois validées pour différentes indications.

- *Ischémie myocardique*. Sur la base d'une approche multimodale avec analyse du strain 3D combinée à un suivi de cohorte et le relevé de données cliniques et biologiques, nous cherchons à préciser la compréhension et la prédiction des suites d'un infarctus du myocarde.
- *Etudes des asynchronismes mécaniques et électriques / fibrose myocardique*. Sur cette thématique, nous évaluons les conséquences mécaniques et électriques des déformations myocardiques mesurées par imagerie multimodale. L'objectif est de préciser les corrélations existantes entre asynchronisme électrique et mécanique afin d'améliorer les résultats des différentes techniques de resynchronisation.

Perspectives sur les actions du thème IGCNC

Elles sont décrites à partir des 3 sous-activités transversales :

L'activité cartographie d'imageries cérébrales

Nous travaillons à l'enrichissement de l'information cartographique en développant la fusion d'images pour augmenter l'extraction sémantique, tout en limitant le nombre d'imageries pour faciliter l'applicabilité clinique (*F Feschet, JJ Lemaire*). Ces nouvelles cartes devraient bénéficier à l'ensemble des champs applicatifs. Au plan applicatif, un travail collaboratif en cours (*J Luauté, Lyon*) propose un modèle statique de dysfonctionnement d'un réseau chez les cérébrolésés pouvant expliquer la présence d'effet paradoxal (éveil au lieu d'endormissement) du zolpidem ; il s'appuie sur l'analyse cartographique des lésions au sein de boucles de connexion cortico-striato-pallido-thalamique. Un autre travail débute pour exploiter les cartes d'anisotropie fractionnelle avec codage directionnel en couleur en pathologie tumorale cérébrale (poste CHU, 0.2 ETP ARC en attente ; *future doctorante L Jacquet*) et lors de dilatation ventriculaire (hydrocéphalie ; *doctorant G Coll*), chez l'adulte et l'enfant. Deux travaux préliminaires de thèse en médecine (internes en neurochirurgie ; *MP Loit, C Botella*) sur ce point particulier sont terminés.

L'activité connectomique fonctionnelle clinique

Nous travaillons au plan méthodologique sur l'imagerie DTI et ses extensions cliniquement applicables, en cherchant une ou plusieurs méthodes pour améliorer la tractographie des faisceaux de substance blanche (organisation interne, limites et détails sur les extrémités), e.g. méthodes de type HARDI et analyse Kurkosis (*F Feschet*). Nous développons une base de données des objets anatomiques pour créer un outil de segmentation semi-automatique du cerveau profond (*doctorant Q Daniel*). En parallèle nous développons l'intégration dans le même espace de l'information de connexion structurelle (connectomique) avec celle fonctionnelle, pour créer un environnement de connectomique fonctionnelle clinique (*F Feschet*). L'analyse statistique (*A Wohrer*) de la base de données intraopératoire des patients DBS (*J Coste*) nous permettra d'extraire les caractéristiques fonctionnelles des objets anatomiques, notamment l'activité (spontanée et provoquée) neuronale extra cellulaire multi unitaire, les potentiels de champs et les réponses cliniques lors des tests de stimulation intraopératoire. L'intégration spatiale des informations topographiques, structurelles et fonctionnelles des objets anatomiques nous permettra de développer la modélisation et la simulation des champs électriques autour des électrodes DBS (collaborations, industriels, *K Wårdell, S Hemm-Ode*). Pour permettre l'automatisation de la détection des extrémités des faisceaux et la spatialisation anatomique des régions corticales et profondes dans un espace standardisé, nous débutons un travail sur la parcellisation cérébrale. Le cerveau d'un sujet sain (cf. *Master Q Daniel*) sera utilisé comme référence sur le lequel nous segmenterons manuellement de manière la plus exhaustive et réaliste possible les régions anatomiques (cf. base de données de labels) en partant pour le cortex d'un modèle connu (template dérivé du AAL ; collaboration Institut des Neurosciences Grenoble ; *C Delong-Martin*) et pour le cerveau profond de nos propres données. Nous développons l'analyse de connectomes profonds (*doctorants G Coll et H Nezzar ; T Khalil* pour la radiochirurgie) pour mieux comprendre les dysfonctionnements cliniques de cérébrolésés, indépendamment de la cause (hydrocéphalie, traumatisme crânien, lésions cérébrales, radiolésions) et ainsi proposer de nouveaux moyens diagnostiques et thérapeutiques utilisant ces connectomes. Dans le cadre de l'étude des comportements conscients sous DBS, nous développons l'analyse par graphes pour évaluer la connectivité résiduelle extraite du DMN (*Doctorante A Sontheimer* ; collaboration *S Achard, Gipsa-lab, Grenoble*). L'analyse du connectome associé aux régions cérébrales mise en jeu par des paradigmes

émotionnels va compléter cette approche (*doctorante A Sontheimer*) ; le prolongement de ce travail sera réalisé pour le connectome en lien avec l'attention visuelle (*doctorant H Nezzar*).

L'activité applications en neurosciences cliniques

Nous prolongeons des développements méthodologiques dans d'autres domaines applicatifs proches: (1) comparaison des activités métaboliques PetScans chez des patients souffrant d'algie faciale (collaboration CHU Nice ; étude MET-ONS ; *D Fontaine, M Lanteri-Minet*) ; (2) pour l'étude des comportements conscients sous DBS, l'analyse par modèle linéaire mixte va être étendue aux chaînes de Markov pour étudier l'évolution temporelle des paramètres, notamment du score CRS-R (Coma Recovery Scale – Revised). Des prolongements cliniques sont en cours en neuropédiatrie. Une étude de l'évolution de l'IRM de diffusion et des données tractographiques chez enfant traumatisés crâniens doit être réalisée en collaboration avec l'équipe du McGill Institute de Montréal (stage de recherche et de formation d'une *future doctorante N Savy*; Canada). Globalement les techniques DTI et tractographiques développées vont être appliquées dans le champ de la neuropédiatrie et du développement cérébral. Ils visent également à connaître l'aspect des faisceaux de substance blanche méconnu dans ces pathologies. Ces nouvelles applications apparaissent essentielles pour le suivi de tels patients dans le cadre de protocoles thérapeutiques ayant pour objectif d'améliorer la formation des faisceaux au cours du développement cérébral. Cette technicité sera applicable à d'autres pathologies génétiques de type leucodystrophies, pathologies rares, mais également à d'autres troubles acquis du développement précoce de la myéline beaucoup plus fréquents dans la population comme par exemple les lésions de substance blanche liées à la prématurité.

Sur le plan de l'interaction environnement en lien avec la formation par la recherche, nous souhaitons développer un outil web pour l'apprentissage de l'anatomie du cerveau profond, en s'appuyant sur notre base de données d'imagerie structurelle et fonctionnelle.

Perspectives sur les actions du thème PEPRADE

Le savoir-faire dans le domaine général de l'évaluation médicale restera décliné dans le domaine des pratiques médicales en Périnatalité, dans l'évaluation du risque lié à l'environnement, aux pratiques et aux techniques en santé périnatale. L'imagerie échographique représentant un pan important de cet environnement pratique et technique, nous travaillerons sur de nouvelles applications, et sur la qualité de l'image dans un souci d'amélioration du diagnostic morphologique et en interventionnel.

Sous-thème = Imagerie Ultrasonore et Grossesse (D Lemery)

Il fait partie du cadre du contrat de partenariat avec la Société SuperSonic Imagine.

- *Qualité d'Image* = Dans la suite d'une étude en cours sur la prise en compte différenciée selon les tissus explorés du paramètre vitesse de propagation des ultrasons, nous arrivons à démontrer que des vitesses plus lentes sont plus adaptées à l'imagerie des patientes obèses (1450 m/s vs 1540 m/s) en améliorant la résolution latérale. Cette étude a été menée grâce à une collaboration au niveau national avec les experts du collège français d'échographie fœtale. Nous constatons que l'appréciation de la qualité d'une image reste un critère très subjectif et que les professionnels de santé comme les industriels ont besoin de critères objectifs de jugement « in vivo » (c'est-à-dire hors simulations sur fantômes, assez éloignées de la complexité des tissus humains). L'étape ultérieure au cours de ce contrat quinquennal est donc la mise au point d'un score objectif de qualité d'image échographique obtenue pour la clinique. Ce projet sera confié à deux doctorants (actuel M2 sur la Propagation) : un pour la méthodologie et un pour la clinique.
- *Elastographie par Onde de Cisaillement durant la grossesse* = La connaissance des caractéristiques de dureté (ou de consistance, ou d'élasticité) d'un tissu sont d'intérêt en clinique. L'exemple le plus connu est l'appréciation de la fibrose hépatique chez le cirrhotique par le Fibroscan®. Cette connaissance a des applications potentielles en obstétrique (maturation du col utérin, placenta, poumons, foie, reins fœtaux). Seul le col est accessible aux techniques nécessitant un contact sonde/organe. L'onde de cisaillement permet d'obtenir et observer un « ébranlement » d'une zone distante de la sonde indépendamment de tout contact. C'est la seule technique permettant l'étude d'organes fœtaux. Ce champ reste donc à explorer (sur un plan physiologie du développement et applications en clinique humaine) et fait l'objet d'un projet pour un doctorant dont le sujet de M2 en cours est l'étude préalable in silico des risques sur un organisme en développement.
- *Approche de la viscosité sanguine par le doppler Ultrafast®* = La viscosité sanguine en général, et chez le fœtus in utero plus particulièrement, est une approche possible pour étudier l'hématocrite (la viscosité lui étant proportionnelle). Considérant que la répartition des types d'écoulement au centre et la périphérie d'un conduit dépend de la viscosité d'un fluide, nous voudrions étudier, grâce au Doppler Ultrafast®, la répartition cartographique des vitesses dans un vaisseau au même instant de la systole ou de la diastole et voir s'il est possible d'établir un modèle permettant d'approcher cette viscosité.

Sous-thème = Blue SCLERAE : Analyse chromique numérique des sclérotiques dans le diagnostic de carence en fer. (M Ruivard)

L'anémie par carence en fer a une prévalence pouvant atteindre 40% dans certains pays. Le diagnostic reste onéreux et nécessite un prélèvement sanguin (au minimum NFS + ferritine). L'aspect bleu des sclérotiques est un signe clinique peu utilisé car observateur-dépendant. L'objectif sera d'établir la valeur diagnostique d'une photo numérique des sclérotiques avec analyse chromique dans le diagnostic de l'anémie par carence en fer. Il s'agit d'une étude cas-témoins reposant sur l'analyse de Photos numérique simple standardisée des sclérotiques comparée aux constantes biologique (NFS, Ferritine et saturation de la ferritine, récepteur sérique de la Transferrine, Hepcidine).

Sous-thème = Etude EOLE (C Barasinski, F Vendittelli)

Les pratiques françaises autour de l'accouchement eutocique ne reposent pas sur des recommandations professionnelles et pourraient avoir un impact sur la mère et sur le fœtus. Le projet EOLE (essai clinique pragmatique randomisé, à deux bras parallèles, multicentrique) est une étude réalisée pendant le 2ème stade du travail avec pour objectif d'évaluer l'efficacité et les comorbidités associées de la poussée dirigée à glotte ouverte versus celle à glotte fermée.

Sous-thème = Pixellisation des indicateurs qualité en périnatalité (L GERBAUD)

La pixellisation d'indicateurs est une façon de traduire un ensemble d'informations complexes en images de façon à déterminer rapidement l'apparition de signaux d'alerte et de pouvoir, éventuellement, les mettre en liens d'association (ou de causalité), comme dans une détection d'agrégats. Elle existe de façon très rudimentaire en démarche qualité. Le problème des premiers essais de pixellisation est qu'ils arrivent à une image certes colorée mais ininterprétable et échouant à proposer une priorisation d'actions. Or, il est possible de progresser en intégrant trois dimensions aux essais de pixellisation : 1/La prise en compte du domaine de la qualité des soins auquel appartient l'indicateur, 2/ Une analyse systématisée des liens et covariations entre indicateurs, 3/ L'introduction de techniques de logique floue afin de tenir compte, dans un même temps, de la non catégorisation absolue de la fonction d'appartenance à un domaine de la qualité, des covariations entre indicateurs et de facteurs de gravité de la non-conformité tracée par l'indicateur. Le travail de pixellisation suppose également de résoudre trois tâches complémentaires : 1/La systématisation des indicateurs qualité en périnatalité, à la fois en termes de catégorisation selon les domaines de la qualité, mais aussi en terme de définition, recueil et d'analyse. Il existe de très nombreux indicateurs potentiels (une revue de littérature de 1999 en identifiait déjà 269). Il est donc nécessaire de trier les indicateurs essentiels et consensuels (tout comme leur définition, modalité de recueil, de calcul et d'analyse). Un premier travail par méthode DELPHI concernant les indicateurs en salle d'accouchement a été entrepris avec le Collège de Gynécologie Obstétrique, 2/ La poursuite des travaux sur les mesures de la satisfaction pendant la grossesse, tant lors du suivi, que pour l'accouchement ou l'accompagnement lors de la première année de vie. Des travaux ont permis de mettre en place un questionnaire de satisfaction sur le séjour à la maternité, utilisé par de nombreuses maternités en France et une sur le vécu du transfert in utero dans le cadre du RSPA. Il s'agit de compléter le champ de la satisfaction et d'étudier l'intégration des données de satisfaction à l'ensemble des données de qualité en vue de leur pixellisation, 3/L'évaluation des processus éducatifs pendant la grossesse: il existe de nombreuses actions liées à l'éducation à la naissance et à la parentalité. Elles ne reposent que rarement sur des processus formalisés, évalués et que l'on est capable de lier à des objectifs de qualité des soins, notamment en termes de résultats (morbi-mortalité, réduction du risque de dépression post partum, de ré hospitalisation précoce du nourrisson,...). Il est donc important de mener un travail : 1/ d'identification des pratiques, de leurs fondements scientifiques et de leurs objectifs, 2/ d'évaluation de l'impact de ces pratiques, y compris en recourant aux méthodes d'évaluation médico-économiques (coût / efficacité, coût/utilité et, si nécessaire, analyse d'impact budgétaire), 3/ d'identification les stratégies spécifiques à la réduction des inégalités sociales de santé en périnatalité, 4/d'inclusion de l'impact de ces pratiques dans le projet de pixellisation de la qualité des soins.

Sous-thème = Restructuration de la prise en charge mère enfants et impact sur la santé de l'exposition chronique au césium137 et aux pesticides en Ukraine (L Gerbaud)

L'ensemble de ce travail repose sur une collaboration avec les équipes de gynécologie-obstétrique et de pédiatrie de l'Université Médicale Shupik de Kiev, de l'hôpital régional pédiatrique de Boïarka et les autorités sanitaires de la région de Kiev. Il est développé dans un premier district géographique (Ivankiv) et sera destiné à être déployé dans d'autres districts (notamment en Polésie). Financé par l'Union Européenne, ce programme faisant partie de l'accord UE- Ukraine en cours de négociation, et d'un financement du Conseil Régional de Rhône-Alpes. Dans la suite du travail entamé depuis 2013, il s'agit de poursuivre l'aide au système de santé de la région de Kiev avec cinq axes :

- *Amélioration de la qualité des soins dans les maternités et services de pédiatrie* : en termes de structures et en termes de processus de soins.
- *Evaluation épidémiologique des conséquences de l'intoxication chronique par Cs137 (post Catastrophe de Tchernobyl) et de l'exposition aux pesticides*. L'accès aux pesticides et engrais s'étant traduit par un recours massif et fortement accru, notamment en autoproduction de fruits et légumes, en même

temps que l'exposition chronique au Cs137 se développait. Il s'agit de poursuivre les études observationnelles en cours. L'analyse se fera en aveugle en Ukraine (Université Médicale Shupik et centre écologie et santé) et au CHU de Clermont-Ferrand (service de santé publique et CEMC pour les pathologies congénitales). Ce travail portera sur la détection d'agrégats spatiaux et temporels, en poursuivant le travail qui associe déjà le CEMC d'Auvergne et le service de santé publique (partie épidémiologie – PEPRADE et biostatistiques - ISIT)

- *Lien cartographie et mesures d'intoxication chez la mère et l'enfant* : parallèlement à l'étude épidémiologique, un travail de cartographie des sols, des eaux et d'ingestats (fruits, légumes) a été entrepris en Ukraine avec l'appui du Laboratoire de physique subatomique UMR 6457 (SUBATECH), Ecole des mines de Nantes. Ce travail s'effectue également dans le cadre de la zone atelier « Territoires Uranifères dans l'Arc Hercynien » (<http://zatu.org>), labellisée par le CNRS depuis le 1er Janvier 2015. Il s'agit de faire le lien entre les éléments de cartographie des sols, de contamination des plantes et de contamination humaine. Par ailleurs, l'association cartographie/ niveaux de contamination et données de pathologies (acquises lors de l'Axe 2) permet de poursuivre le travail élaboré avec le CEMC d'Auvergne sur la recherche d'agrégats spatiaux et temporels et de le mettre en lien avec la cartographie. Ce travail associe les équipes ukrainiennes de l'Université Médicale Shupik et de l'Institut Universitaire de Physiologie et de génétique des plantes de Kiev. Il s'appuie sur une collaboration CNRS (zone atelier) qui sera renforcée par la participation à l'Institut Pascal.
- *Détermination de la dose de Cs137 ingérée dans certains organes cibles à partir de mesures corps entier*. La mesure de la contamination au Cs 137 se fait par dosimétrie externe, complétée par des mesures d'excrétas (urines et fèces). Il s'agit de modifier le processus de mesure, sur un temps plus long et avec des acquisitions localisées sur plusieurs parties successives du corps, puis par des algorithmes classiquement utilisés en imagerie, de reconstituer une dose interne à des organes cibles tels que la thyroïde, le cœur, le cerveau, le foie et les reins. Ce travail bénéficiera de l'intégration à l'Institut Pascal et au sein de TGI des personnes travaillant sur la reconstruction d'image à partir de sources de données hétérogènes.
- *Evaluation de l'impact des recommandations et de l'éducation à la santé sur la contamination au Cs137 et aux pesticides* : parallèlement aux enquêtes en cours, un programme d'éducation à la santé, basée sur des recommandations destinées à réduire l'exposition au Cs137 et aux pesticides (contrôle des lieux de cueillette, surveillance des sols et aliments d'autoproduction, techniques de lavage et de cuisson), ainsi que le recours à certaines techniques (utilisation de pectine, spiruline, de complexes polyvitaminiques,...). Il s'agit de mesurer l'impact de ces différentes actions sur le niveau de contamination des mères et enfants, en partenariat avec l'Université Médicale Shupik, sachant qu'un premier travail a remis en cause l'efficacité réelle du recours à des produits dérivés de la pectine, pourtant largement utilisés.

Sous-thème = Environnement socioéconomique de la grossesse : impact et stratégies de prise en compte (L Gerbaud)

Si l'impact de la vulnérabilité socioéconomique commence à être connu ainsi que la validité de la mesure de cette vulnérabilité par le score EPICES, notamment grâce aux travaux menés dans le cadre de PEPRADE, les stratégies d'intervention ne sont pas pour autant établies et évaluées. Le projet PRUGNANCY (PHRC local) étudie les stratégies mise en œuvre par les femmes précaires en zone. Par ailleurs, la ré analyse des études CAFE1 et 2 tend à montrer une modification vers le bas du seuil de précarité selon EPICES ce qui traduit les problématiques spécifiques de prise en charge sociale de la grossesse (tardive au premier trimestre et accroît l'impact d'un niveau plus faible de vulnérabilité socioéconomique). Il s'agit de tester l'impact d'intervention précoce dans le domaine social, liée à une identification précoce des femmes vulnérables et à une réorientation du suivi (avec, par exemple, une priorisation des consultations précoces pour projet de grossesse, un lien précoce avec les services de PMI,...) et de poursuivre l'identification des facteurs sociaux à l'œuvre (liens avec l'exposition à l'alcool, la violence pendant la grossesse,...). Ce travail sera mené au sein de la maternité du CHU et associera des maternités d'hôpitaux périphériques, notamment Issoire et Thiers (actuellement impliqués dans PRUGNANCY).

Actions inter-Axes interdisciplinaires

Les Actions interdisciplinaires se poursuivent sur les thématiques identifiées en 2012 :

- Machines et Robots Intelligents et Innovants

Modélisation, Planification et Contrôle pour Robots Manipulateurs (MPCRM)

Inter-Axe : ISPR/MACCS et MMS/MMSI

voir Axe ISPR/MACCS

Développer l'usine intelligente par une meilleure intégration du numérique dans les robots et systèmes de production

Action inter-Axe : MMS/MMSI et ISPR/MACCS-PERSYST

et

Améliorer la flexibilité de l'usine et la personnalisation de la production

Action inter-Axe : MMS/MMSI et ISPR/MACCS-PERSYST

voir Axe MMS/MMSI (Actions 1 et 2)

- Innovations dans les Bioprocédés

Systèmes & Micro-Systèmes Capteurs : Métrologie pour Bioréacteurs

Action inter-Axe : PHOTON/MINAMAT et GePEB

Le projet de capteur pour le contrôle de réacteurs biologiques destiné à la production de bio-énergie nous a permis de proposer un capteur innovant permettant la mesure de concentration en acide acétique en milieu liquide sur la base d'une structure électrochimique à électrode de travail de type matériau organique (résultats détaillés dans l'article tout récemment accepté de la Revue *Journal of Sensors Electrodes modification based on metal free phthalocyanine: example of electrochemical sensors for the detection of acetic acid*. Amadou L. Ndiaye, Alain Pauly, Sebastien Delile, Jérôme Brunet, Christelle Varenne, Abhishek Kumar). Nous nous penchons actuellement sur la problématique de la sélectivité dans la détection. Pour cela notre stratégie est basée sur la mise en œuvre d'une membrane installée en amont du capteur, perméable aux ions acétates et imperméable aux autres espèces ioniques du milieu susceptible d'induire un signal capteur. Ce sujet largement pluridisciplinaire est à l'interface entre l'Axe PHOTON et l'Axe GePEB à travers son projet intitulé Bioréacteurs au sein de sa Majeure 2. La proximité des équipes de recherche dont les compétences sont parfaitement complémentaires sur ce sujet constitue un atout majeur permettant d'envisager la levée du verrou technologique constitué par la métrologie sélective des AGV en milieu liquide. Ce sujet est vaste et peu de résultats existent à ce jour dans la bibliographie. Nos résultats sont aujourd'hui très encourageants ce qui est très prometteur pour l'avenir.

Fonctionnalisation de nanofils ultra-longes : nouvelle génération de nano-capteurs pour la bioélectronique

Action inter-Axe : PHOTON/MINAMAT et GePEB

Dans le champ disciplinaire des capteurs biologiques, la sensibilité, le seuil de détection et la sélectivité sont les caractéristiques métrologiques les plus dures à satisfaire. Grâce à leurs faibles dimensions, leurs hautes sensibilités et leur potentiels d'intégration au sein de systèmes de type bio-puce, les microcapteurs biosensibles basés sur l'utilisation de nanofils semiconducteurs sont des candidats à fort potentiel. Cependant, plusieurs verrous technologiques restent à lever pour positionner les capteurs à semiconducteurs comme solution adaptée au contrôle de substances biologiques. Dans ce contexte, des chercheurs des deux axes IP et GePEB de l'IP proposent de mettre en commun leurs expertises en biologie, électrochimie, électronique et épitaxie des nanofils III-V(N) par HVPE pour la réalisation d'un prototype unique de biocapteurs aujourd'hui en cours de conception. Il s'agit dans ce projet d'exploiter le potentiel unique du procédé HVPE pour la synthèse de nanofils ultra-longes avec des propriétés optique et cristallographiques contrôlées. Une fois le meilleur compromis trouvé, i.e., dopage et/ou fonctionnalisation des nanofils, ce concept sera validé via la détection de microorganismes électronégatifs. Cette preuve de concept ouvrira de nouvelles perspectives d'applications en bioélectronique.

- Méthodes probabilistes

Compatibilité électromagnétique en environnements stochastiques complexes

Action inter-Axe : PHOTON/CEM et MMS/MPMS

Cette action (au Programme Transversal 2012-2017) est le fruit d'une collaboration ancienne, antérieure à la création de l'Institut Pascal, autour de la prise en compte des incertitudes en compatibilité électromagnétique entre des probabilistes et l'équipe CEM (Compatibilité ElectroMagnétique). Si les travaux initiaux concernaient le nouveau moyen d'essai qu'est la chambre réverbérante à brassage de modes dont le fonctionnement intrinsèque appelle à la mise en œuvre d'approches probabilistes, les études entreprises dans le cadre de cette opération du PT ambitionnaient de revisiter des problèmes de CEM plus classiques, mais toujours d'actualité, en considérant leurs dimensions aléatoires. Les résultats que nous avons obtenus (cf partie bilan) dans ce domaine relativement vierge ont démontré tout l'intérêt de cette démarche et nous incitent à poursuivre les travaux entrepris.

En premier lieu nous envisageons d'étendre l'approche par éléments finis stochastiques basée sur les chaos polynomiaux à la résolution des équations de Maxwell stochastiques appliquées à des problèmes plus complexes (cas bi- et tri-dimensionnels, structures filaires, frontières aléatoires, ...). De la même manière, l'extension des approches fiabilistes (méthodes FORM et SORM, importance sampling, directional simulation, subset-simulation) à des problèmes de CEM plus réalistes ouvrent de nombreuses perspectives. Par simplicité, les études CEM se basent en effet la plupart du temps uniquement sur le pire cas déterministe potentiel pour préconiser des protections. Les normes auxquelles sont soumis tous les systèmes électroniques font, elle mêmes, abstraction des variabilités pourtant inévitables des paramètres de ces derniers. Ceci conduit ainsi bien souvent à des surprotections qui induisent des coûts supplémentaires. Considérons, pour ne citer qu'un champ d'application de la CEM, le domaine de la mobilité du futur. Ainsi, l'avènement attendu de l'avion tout électrique impliquera de facto un nombre de

câbles bien plus important et par voie de conséquence des contraintes CEM accrues. Pour des raisons évidentes de poids, un sur-blindage métallique de l'ensemble du réseau électrique n'est pas envisageable. La solution imaginée actuellement vise à diminuer au maximum les protections à apporter, voire à les supprimer complètement grâce à des configurations judicieuses (séparations des différents types de signaux, orientations particulières des câbles, routages électriques spécifiques...). Ce nouveau paradigme nécessitera de prendre en considération les aléas pour estimer la fiabilité du système (en plus des composants pris séparément) et au préalable de quantifier le poids de la variabilité de chaque paramètre du système. La poursuite des études entamées sur l'analyse de sensibilité (amélioration de la stratégie standard pour le calcul des indices de sensibilité globale au sens de Sobol) permettra la détection des paramètres aléatoires discriminants dans l'analyse fiabiliste de tels systèmes de CEM stochastique.

La proximité géographique d'expertises uniques en probabilité et en CEM a permis à ces travaux interdisciplinaires d'aboutir à une véritable synthèse disciplinaire sur un objet de recherche commun. Il est important de souligner l'apport décisif en la matière fourni par le financement d'une thèse de doctorat commune aux équipes impliquées. Fortes de leur leadership reconnu internationalement sur ce thème de recherche, ces dernières ont organisé le premier workshop sur l'incertain en électromagnétisme (UMEMA 2015). Les participants sont tombés d'accord pour reconnaître la nécessité et l'intérêt d'intégrer la gestion des aléas dans l'étude des problèmes CEM (pour preuve une deuxième édition du workshop est déjà programmée pour l'année 2016) et d'aucuns prédisaient l'essor d'une nouvelle discipline : la CEM stochastique.

Si nous sommes convaincus que le groupe de travail mis en place à l'occasion de cette opération du PT doit perdurer, nous pensons qu'il doit également s'ouvrir à des collaborations extérieures. Les sollicitations externes reçues en ce sens, tant au niveau académiques (IETR-UMR 6164, Politecnico Milano, Politecnico Torino, The University of Adelaide, ANSSI,...) qu'au niveau industriel (Nexio, Safran, CNES, ...) favoriseront cette nouvelle étape à travers des projets collaboratifs (ANR, projet RAPID de la DGA, séjours invités,...) dont certains ont d'ores et déjà fait l'objet de discussions avancées. Il n'en reste pas moins que si nous souhaitons maintenir et accentuer notre avance, la continuité d'un soutien humain (bourse de thèse, CDD) et matériel (accès à des ressources informatiques puissantes) apparaît comme primordiale en complément des moyens financiers d'accompagnement (conférences, séjours scientifiques,...) apporté par le passé par les membres des équipes de cette opération.

A l'orée de l'émergence d'une nouvelle discipline nous souhaitons ainsi tirer profit au mieux des compétences rares et des motivations fortes présentes au sein de notre laboratoire.

- Matériaux et Modélisations Multi-Echelles
Action inter-Axe : MMS/MS et GePEB, ISPR, PHOTON, TGI

Les projets précédents de l'Action MMME ont permis aux acteurs concernés de l'Institut Pascal de renforcer leur expertise et reconnaissance nationale et internationale dans le domaine des approches transdisciplinaires et multi-échelles des matériaux et systèmes multi-physiques. Ces activités seront poursuivies sur les matériaux innovants comme les matériaux actifs, les composites, les matériaux et les systèmes électromécaniques ainsi que les matériaux pour la mobilité. Les acteurs de l'action continueront à contribuer activement aux activités du Défi 1 du LabEx IMobS3 dans le cadre de l'Action "MAIM" et, éventuellement, d'autres actions.

Vu la multiplicité et la diversité des facteurs à prendre en compte pour la conception innovante d'un système mécanique piloté, en vue d'augmenter et/ou d'optimiser sa fonctionnalité et ses performances, des approches pluridisciplinaires comportant les aspects choix des matériaux, conception, pilotage et contrôle du système, etc. seront développées dans le cadre des coopérations étroites inter-Axes. Les matériaux actifs et intelligents portent un grand potentiel pour les systèmes mécaniques pilotés car ils ont la propriété de se mouvoir en réponse à des stimuli multi-physiques et chimiques divers. Les applications possibles incluent donc, entre autres, les capteurs et les actionneurs innovants utilisés dans le contrôle intelligent et la robotique. Ces matériaux réagissent mécaniquement (déformation, contrainte) à des stimuli physiques (lumière, champ électrique, température, ...) et peuvent changer les propriétés physiques du système. Des perspectives importantes sont entre autres liées au développement des nouvelles modélisations multi-échelle du comportement des systèmes mécaniques innovants pilotés comportant ces matériaux. Des modélisations seront développées sur les bases de la mécanique des solides, de l'électrostatique, de la thermodynamique et de la cinétique. Ces modélisations vont traiter, entre autres, d'aspects essentiels tels que l'interaction entre la contrainte et le champ physique concerné, différents mécanismes du comportement et de la rupture de ces matériaux, ainsi que l'influence de ces paramètres sur la fonctionnalité et contrôlabilité du système mécanique piloté. Cette modélisation des matériaux actifs et les différentes stratégies innovantes de couplage de leurs propriétés dans un système seront utilisées, entre autres, dans des applications robotiques importantes comme l'actuation et la préhension. Par exemple, un préhenseur utilisé pour saisir des objets de différentes formes, utilisera la déformation

contrôlée et commandée intelligemment des matériaux actifs pour adapter la forme du système robotique à celle de l'objet à saisir. Finalement, en perspective, des approches innovantes liées aux domaines d'application modernes des matériaux innovants comme robotique souple, robotique intelligente, vision artificielle, applications médicales, délivrance des médicaments, contrôle actif, capteurs, actionneurs, etc. seront développées.

Concernant l'insertion dans des actions locales, nationales et internationales, ces projets s'intégreront parfaitement dans les domaines stratégiques de l'Institut Pascal comme l'Usine du Futur, Transports du Futur et Hôpital du Futur et vont lier les compétences des cinq Axes disciplinaires sur les matériaux innovants et leurs applications existantes et potentielles. À l'échelle internationale, ces projets bénéficieront de collaborations actives avec des spécialistes étrangers de renommée internationale (citons par exemple Fraunhofer IWM, Karlsruhe Institut of Technology (Allemagne), Harvard (USA), Université de San Diego (USA), Université de Dniepropetrovsk (Ukraine), Université de Coimbra (Portugal), Université de Saragosse (Espagne), etc.). Ils donneront également un appui important aux échanges internationaux menés actuellement par nos équipes.

- Imagerie Quantitative

- Action inter-Axe : MMS/MS et GePEB, ISPR, TGI**

L'Institut Pascal dispose d'équipes de tout premier plan pour la conception de caméras intelligentes d'une part, et pour leurs applications potentielles à des fins de métrologie dans divers champs d'application d'autre part. Concernant le développement d'outils, il faut citer les travaux entrepris au sein d'ISPR pour proposer des caméras spécifiques à la thématique mobilité, ainsi que des procédures de traitement d'images associées. Concernant les applications potentielles de tels systèmes, les Axes GePEB et MMS ont des problématiques spécifiques qui pourraient connaître des avancées majeures grâce à des outils « sur mesures » développés pour leurs applications propres avec l'expertise d'ISPR.

Les Axes GePEB et ISPR développent par exemple depuis 2014 une méthode de trajectographie optique pour la caractérisation de l'hydrodynamique des bioréacteurs mécaniquement agités. Il s'agit de suivre avec plusieurs caméras un ensemble de billes d'alginate afin d'en déduire par reconstruction les trajectoires, puis le champ des vitesses lagrangiennes. Le matériel est constitué principalement d'un ensemble de trois caméras acquises grâce à un financement du LabEx IMobS3. L'originalité de la méthode est de proposer un suivi multi-objets de façon à réduire les durées d'acquisition. Les premiers travaux ont abouti à un logiciel d'acquisition multi-caméras capable de fournir un fichier des positions des objets détectés par chaque caméra. Les travaux en cours et futurs portent essentiellement sur la calibration des caméras, la reconstruction des vitesses des billes et l'emploi de cet outil original pour mieux comprendre et modéliser l'hydrodynamique des bioréacteurs. Une bourse de thèse co-encadrée entre GePEB et ISPR permettrait d'atteindre ces objectifs dans les meilleures conditions.

Les Axes GePEB et MMS ont participé de façon conjointe au projet ANR DEMETHER 2011-2015 piloté par l'IRSTEA. Ce projet était dédié à l'élaboration d'un biocomposite à des fins d'isolation de bâtiments existants. Des membres de l'axe GePEB ont ainsi développé des formulations testées ensuite mécaniquement par des collègues de l'axe MMS, en utilisant notamment des outils d'imagerie quantitative développés au laboratoire.

Concernant MMS et ISPR, il faut souligner tout l'intérêt que représenterait le développement d'une caméra dédiée à la mesure de champs de déplacements et de déformations lors d'essais mécaniques de caractérisation de matériaux. Elle permettrait d'accélérer très significativement les procédures de traitement d'images actuellement disponibles permettant d'obtenir champs de déplacements et de déformations lors d'essais mécaniques. Elle ouvrirait aussi de nouvelles perspectives concernant le suivi en temps réels d'éléments de systèmes ou de structures déformables.

Le bilan de l'action Imagerie Quantitative reste pour l'instant limité par manque de moyens affectés. L'Institut Pascal souhaite néanmoins conserver cette action dans son projet au vu de l'intérêt de ses applications potentielles.

- Imagerie : traitement d'images, vision pour médecine, la physique et pour la biologie

L'Axe ISPR/ComSee se propose de lever des verrous d'observation et de quantification à partir d'images, fournies par un coloscope dans un premier temps, en travaillant sur une reconstruction 3D qui pallie le problème engendré par les déplacements de l'outil coloscope. Au delà de l'image de type "médicale", c'est le champ de la vision pour la physique, la biologie qui est ouvert (voir **Traitement d'images et Vision pour la Physique** in Axe ISPR/ComSee).

La collaboration initiée depuis de nombreuses années entre le laboratoire ISIT et ISPR devrait permettre une vraie adhésion des Axes TGI et ISPR dans des projets relevant du domaine stratégique de l'Hôpital du

futur sur la thématique de l'instrumentation médicale intelligente. Plusieurs actions sont en cours comme par exemple un projet régional de mesure en endoscopie dual focus porté par ISPR qui vient d'être accepté et qui accompagne une aide de la SATT Grand Centre attribuée à l'ISIT pour à terme la création d'une spinoff adossée au laboratoire.

- Robotique médicale

L'IP souhaite développer une action robotique traitant spécifiquement des verrous relatifs à l'utilisation médicale, notamment pour un robot invasif intracrânien, dans la continuité de travaux antérieurs. Dans cet environnement particulièrement complexe et sensible, les verrous sont extrêmes, comme la progression sans appui, les trajectoires curvilignes adaptées aux connexions intracérébrales et la possibilité de transformation en urgence en chirurgie conventionnelle. Ces développements seraient utilisables pour d'autres organes cibles en environnement moins contraint.

3.3. Capacités de réalisation

Nous évoluons dans un contexte où les moyens sont octroyés depuis des sources multiples, sur la base d'arbitrages divers et non coordonnés : arbitrages par *projets* à l'échelle nationale (agence ANR), à l'échelle européenne (Horizon 2020), à l'échelle régionale (CPER, S3/DIS) ; arbitrages des tutelles (universitaire, CNRS, SIGMA). Les évaluations sont par juste conséquence multiples : évaluation des agences de moyens, évaluation AERES/HCERES, et évaluation des promoteurs de diffusion scientifique (journaux, conférences). Le laboratoire est le terrain d'exécution de ces arbitrages et évaluations quelquefois contradictoires.

Gestion des moyens budgétaires

L'Institut Pascal a été moteur, actif et au final lauréat dans le cadre des grands appels à projets nationaux (PIA1 LabEx et EquipEx). Une part importante des réalisations scientifiques mentionnées précédemment (section 3.2) est ou sera implémentée dans le cadre de projets de recherche régionaux, ANR ou européens.

Programmes PIA1

L'Institut Pascal intervient sur les Défis 1 (Véhicules et Machines Intelligents) et 3 (Procédés de production d'énergie pour la mobilité) du LabEx IMobS3 jusqu'en 2019. Le soutien pour l'IP est en moyenne de cinq bourses doctorales et cinq contrats CDD (post-doc/ingénieurs) par an. Chaque thèse est accompagnée de trois mois de salaire et séjour pour l'invitation d'une personnalité scientifique étrangère (1 mois/an pendant les trois années de thèse). Le LabEx GaNeX (2011-2020) portera les collaborations nationales pour les activités *nitrures* expérimentales et conceptions théoriques de PHOTON-N2/MINAMAT. Il est vecteur d'audience et de visibilité et soutient financièrement les activités via des équipements et des ressources humaines sur appels à projets annuels internes au réseau GaNeX.

Programme PIA2

Le projet CAP2025 vise à structurer, à l'horizon 2025, le site clermontois via une intégration de la stratégie des différents acteurs territoriaux (établissements et organismes d'enseignement supérieur et de recherche, entreprises, collectivités territoriales, représentants de l'Etat en région) autour d'actions communes portant sur des axes partagés, dans les domaines scientifiques où les équipes clermontoises disposent d'un leadership national ou international reconnu. Ces axes scientifiques, choisis en cohérence avec les politiques régionales définies en 2013 et 2014 (Stratégie de Spécialisation Intelligente et Schéma Régional de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation), sont les suivants :

- Agro-écosystèmes durables dans un contexte de changement global.
- Sciences pour l'Ingénieur au service des Systèmes Performants et Intelligents.
- Mobilité humaine et qualité de vie au travers d'approches innovantes et multimodales.
- Aléas naturels et gestion des risques catastrophiques dans des environnements vulnérables et évolutifs.

L'Institut Pascal se retrouve plongé au cœur de l'axe Sciences pour l'Ingénieur au service des Systèmes Performants et Intelligents (SPI2) dont un des points forts repose sur un lien étroit avec le monde socio-économique. L'axe SPI2 rassemble tout ou partie des forces de 10 laboratoires académiques du site de Clermont, dont les compétences sont complémentaires, permettent d'innover au niveau des interfaces et d'aborder les secteurs stratégiques ciblés. L'axe SPI2 est structuré autour de trois grands domaines scientifiques reconnus pour l'excellence des activités de recherche des laboratoires sous-jacents, qui sont :

- i) les matériaux et les composants ;
- ii) les machines, les robots et les processus ;
- iii) les systèmes d'aide à la décision.

Ces trois domaines scientifiques ont pour mission la mise au point de briques technologiques afin de réaliser, sous une décennie, des avancées significatives dans trois secteurs stratégiques identifiés au sein du plan national intitulé Nouvelle France Industrielle :

- i) la mobilité durable fondée sur des systèmes de transport innovants respectueux de l'environnement, et à faible consommation d'énergie ;
- ii) l'automatisation et l'optimisation de sites industriels du futur afin de faire face à la compétition internationale exacerbée ;
- iii) la conception de nouveaux dispositifs pour l'agriculture afin de rendre ce secteur économiquement et qualitativement compétitif, avec de meilleures conditions de travail.

Les principaux attendus de l'axe SPI2 sont :

- i) Au cours des 4 premières années, un laboratoire partagé avec la Manufacture MICHELIN, focalisé sur l'usine du futur, sera créé. Ce laboratoire sera un cadre contractuel pour échanger et travailler sur le long terme afin de surmonter les obstacles scientifiques et technologiques « amont ». Il est également prévu de finaliser le lancement de la plate-forme d'intégration PRINSYP. Le but de PRINSYP est de rassembler les compétences des laboratoires académiques et des jeunes pousses afin de proposer des solutions innovantes en réponse des demandes complexes immanentes de grands comptes comme MICHELIN, Aubert & Duval, Constellium (actionnaires de PRINSYP). En outre, l'équipement de la plateforme PAVIN Milieu naturel (site de Montoldre Irstea) sera achevé afin de fournir une aire de jeux essentielle pour le développement des agro-technologies (projet AgroTechnoPôle).
- ii) Sous 10 ans, trois démonstrateurs réalistes sont envisagés. Le premier concerne un atelier industriel où les tâches pénibles et répétitives seraient entièrement automatisées ou effectuées de manière sûre et ergonomique. Le second aura pour objectif de démontrer la faisabilité de l'automatisation de tâches répétitive et chronophage au sein d'une exploitation agricole. Le dernier prévoit un déploiement à grande échelle d'une flotte de navettes automatisées pour assurer la mobilité des personnes en milieu urbain.

La Région Auvergne investit également sur CAP2025 par un programme d'aide à la mobilité entrante et sortante des personnels dans le cadre du LabEx IMobS3, et par un soutien budgétaire au laboratoire partagé avec Michelin.

Région

Au niveau régional, des Actions sont actées dans le cadre de l'Axe MMaSyf du CPER jusqu'en 2018. Ces actions spécifiques impactent les Axes ISPR, MMS, GePEB et PHOTON sur une partie des projets déclinés en section 3.2.

Action CPER-MMaSyf	Année	Axe IP	Moyens programmés (soumis à validation à échéance de présentation)
ECOMAT ET ROMAPAR <i>Eco-conception des matériaux fiables et durables pour l'amélioration des performances des structures et systèmes mécaniques et Robots et machines de production agiles et reconfigurables</i>	2015	MMS	Equipements et 2 RH
NANOCOMPOSANTS <i>Nanocomposants optiques et communications fiables</i>	2016	PHOTON	Equipements et 2 RH
VROBAUT et Procédés, Energétique et Biosystèmes <i>Véhicules et robots autonomes communicants en milieux dynamiques incertains</i>	2017	ISPR et GePEB	Equipements et 2 RH
ROBCO <i>Systèmes robotiques coopérants pour la robotique de service à usage professionnel</i>	2018	ISPR et MMS	Equipements et 2 RH

Sur les appels à projet régionaux qui se tiennent en parallèle aux actions budgétisées CPER, les fléchages liés à la stratégie de spécialisation S3 de la région Auvergne permettent des compléments de financement sur les Axes ISPR et MMS, mais rendent difficile l'accès à ces financements pour PHOTON (thèmes N2 et MINAMAT en particulier). La fusion avec la région Rhône-Alpes permettra un élargissement des thématiques éligibles aux appels d'offres régionaux (voir les DIS adressés en section 3.1). Elle permettra de valoriser les collaborations que la communauté de l'IP entretient avec des laboratoires de Saint-Etienne (Hubert Curien), Lyon (INL, LIRIS), Grenoble (Institut Néel, INAC, LETI ; CHU Grenoble, Université J. Fourier, GIPSA-LAB, CEA LETI), AVIESAN, Groupe Sofiplast, Vaperail, Thales Angénieux, foxstream, BIGARD, Eve Systems, Inovtech

Industrie, et le pôle VIAMECA. En génie des procédés, cette fusion offre des perspectives intéressantes, notamment dans le cadre du CODEGEPRA (**Comité de Développement du Génie des Procédés en région Rhône-Alpes Auvergne**), sachant que l'Axe GePEB dispose de compétences reconnues et spécifiques dans le domaine du génie des bioprocédés (biotechnologies blanches, biotechnologies bleues et biotechnologies vertes). Ceci relève essentiellement de la S3 "systèmes de production performants ; génie des procédés alimentaires" (*aboutir à des produits agricoles durables, de meilleure qualité et respectueux de l'environnement*).

Agences de moyens

Le taux de succès aux AAP de l'ANR pour l'IP se situe au niveau national : sur les douze projets déposés par l'IP lauréats de la première étape d'évaluation en 2015, trois sont validés pour financement (MMS/ISPR/GePEB), soit 25%, taux conforme à la moyenne nationale. Reste que les neuf projets non financés sont de qualité attestée par les notes reçues à l'évaluation préliminaire, et le non-financement peut mettre en situation de péril réel certaines activités, jugées par ailleurs comme soutenables par les tutelles (demandes de crédits d'équipements spécifiques validées par exemple). Le laboratoire est donc confronté à un exercice difficile : il s'agit de mettre en œuvre une répartition juste et équilibrée des moyens budgétaires qui tienne compte de la cartographie globale des points d'entrée des ressources du laboratoire. Compte tenu du contexte actuel marqué par des crédits annuels des tutelles réduits (qui reviennent sur un simple calcul de moyenne à 1100 € par personnel (doctorants et CDD compris)) et le financement sur appels à projets soumis aux règles des concours, il est difficile pour les équipes de direction de trouver une liberté d'action réelle pour réserver une part annuelle de budget au soutien à l'émergence de projets scientifiques, de projets interdisciplinaires, de projets portés par les jeunes entrants, et soutien aux activités en situation de fragilité.

Au niveau européen, l'Institut Pascal entend les appels à soumission des tutelles (Universités, CNRS). L'identification des dossiers de l'IP aptes à concourir sur les appels de l'ERC en 2016-2017 est effectuée. Le projet *Strong light matter coupling - New physics for new devices* affiche le niveau d'excellence requis pour l'ERC-Advanced Grant sur les thématiques de la polaritonique excitonique et polaritonique plasmonique (PHOTON-N2/MINAMAT). G. Malpuech, porteur de précédents dépôts ERC (classés A non financés) présentera une nouvelle candidature. Le projet défendu par M. Grédiac (MMS-MS), *Quantitative Imaging for Photomechanics*, dédié à la métrologie par mesures de champs et présenté une première fois en 2014, sera re-soumis. L'Institut Pascal mettra en place un cadre pour inciter et aider les candidatures à l'Europe, accompagné par les tutelles universitaires (cellule Europe du site clermontois, et CNRS). L'ambition de l'IP est d'augmenter le nombre annuel de soumissions à l'UE (aujourd'hui de dix projets par an) tous appels et tous Axes confondus.

S'agissant des champs associés aux sciences médicales, l'Axe TGI est partenaire d'un projet *3i: Innovative Imaging and Interventions* déposé dans le cadre de l'AAP FHU (Fédérations Hospitalo-Universitaires) de l'automne 2015, avec les CHU de Grenoble, Lyon et Saint-Etienne et des laboratoires universitaires associés. La procédure d'évaluation est en cours.

Projets industriels et de valorisation

L'Institut Pascal est actuellement impliqué dans 7 contrats FUI, 16 contrats de prestations ou accords de coopération industriels et 6 contrats CIFRE, portés essentiellement par les Axes GePEB, ISPR et MMS, représentant 26% des entrées budgétaires des Axes. Une part importante de l'activité du thème PHOTON-CEM est menée dans le cadre de projets industriels et cet adossement sera poursuivi dans le futur. L'objectif de l'IP est de maintenir une activité contractuelle de coopération industrielle au moins égale à 25 % de ses ressources propres. La SATT Grand Centre, mise en place en 2013, apporte des moyens logistiques et budgétaires sur des projets en phase de maturation de l'IP, les thèmes retenus par la SATT GC couvrant effectivement les thématiques du laboratoire. Il en est ainsi pour deux brevets des thèmes PHOTON-CEM et PHOTON-MINAMAT (actions de maturation débutées en 2015). Un référent Valorisation (voir § *Organes de gouvernance de l'Institut Pascal* ci-après) aura pour mission l'incitation et l'accompagnement au transfert de technologie et à la valorisation, missions de l'INSIS, et sera interlocuteur avec la SATT. Inscrite au projet CAP2025, la plateforme PRINSYP, S.A. à financements publics qui recevra un soutien budgétaire de la Région Auvergne, est un outil d'innovation mutualisé qui permettra d'adresser en un seul guichet des problèmes complexes posés par les grands donneurs d'ordre, en mobilisant le savoir faire de start up, de bureaux d'études et de laboratoires universitaires.

Gestion et évolution des ressources humaines

La situation est particulièrement difficile, s'agissant des recrutements à venir et des justes avancements de carrière. Aucune catégorie professionnelle de personnels n'est épargnée. Nous travaillerons à partir de la stratégie scientifique du laboratoire, avec des outils de cartographies des personnels, afin de pouvoir mener une politique d'anticipation, devenue indispensable à une réactivité optimale face aux opportunités des

concours enseignants-chercheurs, CNRS, concours et recrutements des personnels techniques, fortement concurrentiels.

Personnels permanents

Le remplacement des départs à la retraite universitaires est le minimum requis permettant le maintien du potentiel de recherche tel qu'il est en 2015. C'est particulièrement vrai pour l'Axe ISPR (1 PR retraité 2014 en gel de poste, 2 PR prévus en retraite en 2016 et 2017 dont la question du gel de poste est posée), acteur engagé sur les thèmes du projet collectif du laboratoire qui impliquent un engagement qui va au-delà du simple périmètre de l'unité : laboratoire partagé avec MICHELIN, engagements de l'Axe SPI2 du projet CAP2025, dont les établissements et le site clermontois attendent beaucoup. Des départs à la retraite sont également prévus pour la période 2017-2021 sur les autres Axes : 3 GePEB, 6 MMS, 1 PHOTON, 5 TGI. Le maintien des postes ne sera obtenu que par la pleine prise en compte par l'Université (UCA) du caractère essentiel de la contribution de la recherche à la démonstration de sa visibilité internationale, de son utilité publique et de sa capacité à participer à l'innovation économique de la Nation. L'Institut Pascal peut argumenter de la qualité des recherches et de l'audience qu'il apporte à l'établissement (cf. rapport OST Juillet 2015, indicateurs bibliométriques 2011-2014 de l'UBP - domaines physique et sciences pour l'ingénieur). Le succès du projet I-SITE CAP2025 (si lauréat) aura des conséquences sur l'attribution des ressources humaines : 50% devraient être réservées par les établissements (un seul établissement prévu à l'horizon 2025) pour soutenir les thématiques scientifiques définies pour le projet. Pour les autres activités de l'UCA, les critères d'arbitrage quant aux profils proposés aux concours enseignants-chercheurs devraient s'appuyer sur les indicateurs de dynamisme et d'audience scientifiques des groupes de recherche sous-jacents. L'IP doit donc se mettre en capacité de porter ses activités au plus haut niveau de compétition. Aucune équipe de direction de laboratoire ne peut ignorer les changements opérés depuis une dizaine d'années et qui impacteront le paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche sur les deux prochains quinquennats. La spécialisation des sites régionaux qui se traduit pour certaines thématiques, par la concentration de grands équipements et le regroupement de ressources humaines afférentes (publiques et privées) sur des unités de lieu, modifie les priorités d'accompagnement des laboratoires. L'aide à l'établissement de collaborations avec les sites d'expertise identifiés sur le terrain national devient primordial, tout comme la préparation des personnels à des réorientations thématiques en réponse aux évolutions de l'environnement. Le développement des compétences par la formation et la mobilité (formations CNRS, candidatures CRCT, délégations CNRS, mobilité partenaire privé MICHELIN...) sera mission identifiée de l'équipe de direction, avec la nomination d'un référent aux ressources humaines (voir § *Organes de gouvernance de l'Institut Pascal* ci-après).

Candidatures CNRS

Plusieurs candidats se sont présentés au cours de la dernière décennie sur les concours CR du CNRS en sections 07 et 08, sur des thématiques à bilan d'excellence avéré avec des candidats de très haut niveau : robotique en CN 07, polaritonique excitonique en CN 08. L'Institut Pascal mènera une politique volontariste pour solliciter des candidatures CR CNRS sur toutes les sections disciplinaires du laboratoire encore non adressées : mécanique/matériaux/robotique, génie des systèmes photoréactifs/modélisation du métabolisme énergétique et génie des bioréacteurs, instrumentation médicale. L'objectif de l'IP est la présentation de cinq candidats tous Axes confondus par an a minima, pour atteindre le seuil d'un chercheur CR rentré par Axe en 2021, en renfort des 2 DR et 1 CR actuels. A très court terme, l'effectif de chercheurs de l'IP devrait augmenter. Un chargé de recherche CNRS sera en mission au laboratoire à partir du 15 novembre 2015 pour une affectation définitive dans l'unité en 2016.

Doctorants

L'Institut Pascal émerge sur trois Ecoles Doctorales du site clermontois. Il obtient en moyenne 4 à 5 allocations doctorales par an via les contingents de bourses annuels des ED (inclus les allocations des groupes ISIT/IGCNC/PEPRADE). Ce niveau faible est la conséquence du nombre réduit au regard du potentiel HDR, d'allocations reçues par les Ecoles Doctorales du site. Pour la période 2017-2021, l'Institut Pascal ne pourra compter que sur un nombre annuel similaire de bourses de doctorants, avec une ou deux unités de plus sur allocations de l'établissement SIGMA par période de trois ans. Les classements de priorité des sujets de thèse proposés aux ED résultent d'arbitrages internes de l'IP.

La majorité des allocations doctorales provient des programmes PIA1, CIFRE/FUI/Industriels, et dépend des taux de succès aux AAP de l'ANR et de l'UE. Certaines sont programmées en nombre pour la période 2017-2021 (en moyenne 5 PhD annuelles par IMobS3, pouvant être doublées en cas de labellisation du projet CAP2025), les autres allocations dépendant des concours AAP entraînent des difficultés d'anticipation et de gestion des RH, qui se répercutent sur les arbitrages internes effectués pour classer les demandes de bourses aux ED. Rappelons ici aussi que la nature des recherches portées devant les AAP, en particulier ceux de l'ANR, entraîne des déséquilibres dans les demandes de moyens : si des projets ISPR ou MMS, moins exigeants en consommables scientifiques peuvent faire une demande de moyens en allocations doctorales, des projets expérimentaux PHOTON ou GePEB sont amenés à faire un choix entre les consommables (gaz,

produits chimiques, substrats...) et l'apport RH doctoral afin de pouvoir entrer dans l'enveloppe budgétaire typique d'un projet ANR, la communauté *se débrouillant* par suite pour se mettre en capacité de réalisation du projet, soit sur les contingents des Ecoles Doctorales, soit sur les demandes CPER et contrats CIFRE.

Grands équipements et plateformes d'appui

Aucune modification majeure des équipements et plateformes d'appui des activités de l'IP n'est prévue sur 2017-2021 (voir liste en section 1.1.5). On notera l'inscription au projet CAP2025 du développement de la plateforme PAVIN dédiée à la robotique d'engins autonomes en milieux naturels et grandes étendues (délocalisée à Montoldre - partenariat Irstea). Sur PAVIN Véhicules Urbains (site des Cézeaux, Institut Pascal), le projet PAVIN SOLAIRE propose de créer une extension où seront mis en oeuvre des photoréacteurs solaires dédiés à l'optimisation de la production de biocarburants. Ces biocarburants seront par suite utilisés dans un véhicule à pile combustible évoluant sur la plateforme parmi une flotte de véhicules autonomes. Ce projet ambitieux permettra de proposer une vitrine intégrative du LabEx IMobS3. La plateforme EquipEx ROBOTEX sera présentée au dossier d'actualisation de la Stratégie Nationale d'Infrastructures de Recherche 2012-2020 par le CNRS.

Organes de gouvernance de l'Institut Pascal

Le retour sur expérience des premiers 42 mois d'existence de l'IP est riche d'enseignements. Au cours de cette période initiale, l'organisation fonctionnelle de l'ex-LASMEA a été reconduite dans ses grandes lignes (voir section 1.4). Or, nous avons constaté qu'une *simple* transposition du mode et des organes de gouvernance de l'ex-LASMEA, entité de 170 personnels répartis sur trois sections CNU, n'était pas suffisante s'agissant de gérer administrativement et d'animer scientifiquement une communauté de 300 personnes, relevant de sept sections disciplinaires différentes, réparties sur trois sites géographiques. Le constat est d'autant plus crucial à établir que l'Institut Pascal propose une augmentation de son empan avec la création d'un 5e Axe TGI, en pleine et totale inter-disciplinarité en accueillant dans les Sciences du Vivant et Environnement, celles de la Santé.

Les communautés de l'IP véhiculent un historique de construction scientifique et structurelle plus ou moins mouvementé. Le LASMEA était issu d'un regroupement en 1994 de deux laboratoires des CNU63/61 et 28 de l'UBP. C'est bien à partir de 2002, que les groupes CNU63/61 et CNU28 du LASMEA ont réellement intégré un sentiment d'appartenance à une unité de recherche et pleinement mis en oeuvre un mode de vie et organisationnel efficace au service du collectif. Le LaMI (section 60) est passé par des cycles de structuration intermédiaires nombreux, marqués par l'introduction de formations universitaires en Mécanique (1998) et la création d'un établissement majeur du site clermontois (Ecole d'Ingénieurs IFMA, 1991), somme toute récentes au regard de l'existant (le campus scientifique clermontois a été créé dans les années 70). Le décloisonnement des communautés et l'accueil du 5e Axe disciplinaire est la priorité. Les trois premières années de l'IP ont montré que la volonté jamais démentie des personnels à former un collectif et leurs efforts devaient être portés par une reconnaissance pleine et entière des cadres de direction, et devaient être accompagnés par des actions spécifiques.

Partant de ces constats, nous proposons de modifier le schéma de gouvernance de l'Institut Pascal et d'inclure des actions d'accompagnement de définition de l'espace collectif, pour atteindre l'objectif suivant : établir un cadre organisationnel qui favorise i) la créativité scientifique, ii) sa mise en oeuvre dans les conditions d'efficacité maximum, iii) l'épanouissement professionnel et la reconnaissance des missions des personnels.

Le circuit de gouvernance, de décision et d'arbitrage s'appuie sur les éléments suivants :

L'Equipe de Direction : elle est constituée du Directeur de l'unité, des cinq Responsables d'Axe, du Coordinateur des Actions inter-Axe, du Responsable Gestionnaire et Administratif de l'Institut Pascal et d'un Correspondant des personnels BIATSS/ITA du laboratoire. Notons que les personnels BIATSS/ITA ont choisi une représentation tournante sur l'année qui permet de balayer l'ensemble des sites géographiques et des disciplines du laboratoire.

Les responsables d'Axe, nommés pour la gestion scientifique et administrative de leur Axe, seront également investis de missions collectives de laboratoire. Il y aura un référent Budget, un référent Ressources Humaines, un référent Doctorants/Formations, un référent Valorisation, un référent Communication. Ils deviennent les interlocuteurs adjoints du directeur chacun sur les issues sous-jacentes.

L'Equipe de Direction est réunie en **Directoire** hebdomadaire. Les réunions hebdomadaires sont nécessaires et efficaces pour traiter des questions courantes : informations diverses, diffusion des grands appels à actions de la communauté (AAP des organismes, appels à sujets de thèse (ED SPI, SF, SVSAE), fiches de

poste...). Le relais et le travail à effectuer au sein des Axes étant par suite sous la responsabilité d'instruction des responsables d'Axe. Les questions adressant la construction de la stratégie et de la politique scientifique de l'Unité, le budget, la gestion et l'arbitrage des ressources humaines, la gestion des arbitrages au niveau de l'Unité (thèses et Ecoles Doctorales, appels à projet régionaux/universitaires...) sont fondamentales. Elles seront instruites aux cours de réunions spécifiques de l'Equipe de Direction après travail démocratique de réflexion et de construction communes organisé au sein des Axes par les Responsables et les Comités d'Axe. Une des difficultés est la mise en cohérence des pratiques, des contraintes de nos communautés disciplinaires différentes.

Les Commissions : ces Commissions ponctuelles seront constituées de personnels désireux de s'investir pour le laboratoire sur des missions particulières (réflexion scientifique, amélioration locaux, communication, utilisation des équipements...). Elles seront interlocuteurs du Directeur et de l'Equipe de Direction sur les sujets adressés. Ce mode de gouvernance est un pari : le pari de la confiance et de l'investissement des personnes sur un mode participatif. Il demande une vigilance accrue sur la coordination. Mais en retour, il installe le collectif et la fierté d'appartenance à une communauté. Ces missions seront validées officiellement par le Directeur du laboratoire et seront portées comme des actions valorisantes dans les dossiers de carrière des personnels (lettres de mission clairement établies).

Le Conseil de Laboratoire : il est l'organe de validation du processus démocratique *travail dans les Axes par la communauté coordonné par les Comités d'Axe / arbitrage collectif au niveau du laboratoire (Equipe de Direction) / rendu des propositions à la communauté*. Le Conseil de Laboratoire sera convoqué a minima une fois par trimestre, avec édition d'un Carnet de Liaison de l'Equipe de Direction avec les membres du Conseil, contenant toutes les informations relatives aux points discutés lors des Conseils afin que chaque membre puisse être proactif lors du Conseil.

Les Comités d'Axe : les Responsables d'Axe sont secondés par des Responsables-Adjoints et travaillent avec un Comité d'Axe, dont la constitution est laissée à l'appréciation de la communauté (chaque Axe est organisé différemment en terme de nombre de thèmes).

Le Pôle de Gestion Secrétariat : il est l'organe clef administratif du laboratoire. Ses personnels doivent faire face à la fois aux bouleversements des missions imposés par les établissements (création de l'UCA, CNRS, SIGMA) et à nos restructurations internes. L'expérience a montré qu'une vigilance particulière devait être accordée au maintien d'un dialogue efficace entre les contraintes administratives supportées par les personnels du Pôle de Gestion et les personnels scientifiques.

La Communication interne : la communication et la diffusion des informations en interne est primordiale. Le Directeur de l'Institut Pascal sera en face à face en Assemblée Générale (AG) d'Axe autant que de fois nécessaire dans l'année (sur demande des personnels, lorsque l'Unité traitera d'un point important et impactant). Deux AG de laboratoire seront organisées annuellement a minima.

Missions particulières de la gouvernance l'Institut Pascal

La communication Grand Public : la diffusion des connaissances fait partie intégrante de nos missions, encore plus aujourd'hui. Il est essentiel à l'heure où des choix de politique nationale sont effectués, d'être proactifs dans la transmission des connaissances et dans la construction de l'image du rôle de la recherche auprès de nos concitoyens, acteurs de la cité démocratique, avec une ouverture vers les décideurs du monde économique, auprès desquels un déficit de l'image et des compétences des Docteurs est une réalité par trop française. Une Commission Communication sera créée, les personnels pouvant tourner sur ces missions de dialogue avec la Cité en fonction de leurs disponibilités, et des opportunités de publicité scientifiques à l'instant t (exemples : les véhicules VIPA, les nanocubes et les nanofils ont fait l'objet d'actions de diffusion publique entre 2012 et 2015). Le site Web est un organe essentiel à la communication. Une attention constante doit lui être portée.

Convivialité et vie du laboratoire : des Journées de l'Institut Pascal, espace d'échange scientifique et de partage, seront organisées annuellement.

La communauté des Doctorants : cet espace doctorants a été discuté en section 1.3.

Les outils documentaires : la mise en oeuvre de l'organisation fonctionnelle s'appuiera sur des outils mis à disposition de la communauté : cartographies des RH, des entrées financements, des gros équipements dont l'IP a la charge de la maintenance, de la jouissance et des personnels techniques dévolus à leur exploitation. Un tableau de bord des échéances annuelles sera édité pour permettre de traiter en avance de phase les questions de budget, de ressources humaines et d'appels à projets récurrents. Le carnet de liaison du Conseil de Laboratoire sera un autre outil de gouvernance collective. Des livrets rédigés à destination

des personnels nouveaux entrants (permanents EC, C, techniques, administratifs) et des doctorants feront partie des outils d'accueil et d'intégration de ces personnels à l'IP.

Aide au montage de dossiers : une aide au montage de projets répondant aux AAP des organismes, et une aide à la constitution des dossiers de candidature au recrutement et d'avancement de carrière seront mises en place, par l'organisation de réunions de débriefing au retour des décisions des agences de moyens, et de réunions de retour des CNU, des CN CNRS et des jurys de recrutement où des membres de l'IP participant à ces instances auront siégé. Une attention sera particulièrement accordée au circuit de dépôt ERC (solicitation de l'aide CNRS à la présentation de candidature, DR7 et cellule nationale), ainsi qu'à l'incitation à la valorisation et au transfert (circuit relationnel avec la SATT Grand Centre - Référent Valorisation de l'IP).

3.4. Conclusion générale

La prochaine période de contractualisation 2017-2021 s'inscrit dans un paysage de la recherche et de l'enseignement supérieur en profondes mutations : mutation des paradigmes, des stratégies nationales, des structures, des périmètres ; mutation de mises à disposition des moyens et des capacités de réalisation ; et in fine, une évolution des missions des personnels. Un laboratoire public définit et arbitre ses choix scientifiques et d'accompagnement dans un cadre d'établissements, un cadre régional, un cadre d'agences de moyens. Chacune de ces instances de pilotage impose ses contraintes stratégiques et techniques.

Les personnels de l'Institut Pascal ont ainsi été proactifs à l'appel à rationalisation lancé sur le territoire national. La Mobilité a été vitrine et moteur d'actions structurantes du laboratoire, qui vont au delà du périmètre de l'unité puisqu'elles ont façonné une partie du site clermontois. Cette structuration a été soutenue par la Région Auvergne (CPER), le CNRS (intégration de l'IP dans le réseau EquipEx ROBOTEX), l'ANR (PIA1 LabEx IMobS3 et EquipEx ROBOTEX). L'évolution et l'élargissement vers l'Usine du Futur et les Agrotechnologies sont engagés. Ceci s'avère cohérent avec les challenges de l'Exploration et de la navigation autonomes et de la Coopération Hommes-Robots-Infrastructures relevés par les Axes ISPR et MMS/MMSI en s'appuyant également sur de fortes collaborations de site, nationales et internationales, notamment grâce au LabEx IMobS3. La création d'un laboratoire partagé avec MICHELIN sur la thématique de l'Usine du Futur et plus précisément autour de la Cobotique et de la Transistique autonome sera un vecteur fort de développement.

L'Axe GePEB verra son support expérimental s'élargir avec le volet énergie solaire de la plateforme PAVIN qui sera le lieu d'expérimentation et de passage à l'échelle d'un photo(bio)réacteur pour la production d'hydrogène ou de (bio)carburants de 2^{ième} ou 3^{ième} génération, objet de plusieurs brevets internationaux et adressant un secteur hautement stratégique.

Pour l'Axe MMS/Matériaux pour les structures et la mécanique, et l'Axe PHOTON, fort de leurs rayonnements internationaux incontestables, l'avenir passera par un affichage auprès des collectivités territoriales, notamment la nouvelle région Rhône-Alpes-Auvergne, afin de dresser des partenariats stratégiques avec des laboratoires Rhône-Alpins et leur permettre de s'inscrire durablement au sein des expertises régionales.

L'Axe TGI se présente comme l'axe applicatif technologique médical au sein de l'Institut Pascal. Les interactions nouvelles identifiées avec les autres axes de l'IP devraient être le terreau d'innovations de grande utilité sociétale, source d'attractivité pour les jeunes talents. L'avenir passera par la labellisation du projet FHU en collaboration avec Rhône-Alpes ; un élément complémentaire pour un positionnement incontournable de l'Institut Pascal dans le nouveau découpage territorial.

