



INSTITUT  
PASCAL  
sciences de l'ingénierie et des systèmes



# IP News

La lettre d'information de l'Institut Pascal • Numéro 1 • parution trimestrielle, juin 2016

## *L'Institut Pascal vous donne des nouvelles !*

*A partir de juin 2016, chaque trimestre, la lettre de l'IP portera un focus sur une thématique scientifique, présentera les partenariats, les innovations et les chercheurs accueillis au sein du laboratoire. Nos doctorants y exposeront leur thèse, nos chercheurs leur programme, et donneront ainsi un aperçu des sujets qui alimenteront les publications de demain.*

*L'actualité scientifique de ce trimestre nourrit des thématiques porteuses pour la société : le lien lumière-matière, la mobilité, l'énergie et les matériaux. Les prochaines lettres continueront de montrer la richesse des contributions de l'IP aux enjeux socio-économiques.*

*Partager les avancées, renforcer les liens entre les axes du laboratoire et avec nos partenaires sont des enjeux importants. Nous affirmons aussi notre volonté de contribuer au rayonnement scientifique du site universitaire clermontois.*

*Et comme la science sait croiser les chemins du jeu et de l'art, nous vous donnons rendez-vous dans nos pages pour quelques notes d'évasion.*

*La direction de l'Institut Pascal*

## Le Pr Hiroshi AMANO, prix Nobel de physique 2014, en visite à l'IP



*(Crédit photo : L. Suty)*

*Hiroshi Amano, Agnès Trassoudaine et Michel Dhôme à l'Institut Pascal, 2 mai 2016*

Le professeur **Hiroshi Amano**, de l'Université de Nagoya, était de passage à Clermont-Ferrand début mai dans le cadre d'une collaboration avec l'axe **PHOTON** de l'Institut Pascal.

Le Pr Amano a reçu le Prix Nobel de Physique en 2014 pour la réalisation de Diodes Electroluminescentes émettant dans le bleu, qui servent notamment de base aux écrans LED et à l'éclairage. Il collabore avec l'équipe croissance de **PHOTON** sur l'étude de cellules solaires à base de nanofils (In, Ga)N obtenus par épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (PRC CNRS-JSPS).

A l'occasion de sa visite, il a offert une conférence intitulée *Nitrides as tools for solving global issues* et il a reçu le Prix de docteur Honoris Causa de l'Université Blaise Pascal et de l'Université d'Auvergne.

[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2014/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/press.html)

# Photonique et Nanostructures : Des applications à l'émulation de systèmes physiques inaccessibles

*Pendant que les fusées de la NASA s'envolent pour Mars, l'axe **PHOTON** de l'Institut Pascal simule la formation de l'Univers dans une goutte de lumière...*

## Introduction

L'électronique est la science qui entend transporter et traiter une information en contrôlant des courants électriques via des tensions. La micro, voire nano-électronique, est basée sur la miniaturisation des composants en utilisant des matériaux semi-conducteurs, dont le caractère isolant ou conducteur peut être modulé. Cette miniaturisation a entraîné une intégration massive des fonctionnalités qui est responsable des progrès technologiques auxquels nous avons assisté ces dernières décennies. La réalisation de structures de petites tailles, de très haute pureté a également conduit à l'observation et à l'étude de nombreux phénomènes quantiques qui sont au cœur de la physique fondamentale tel que l'effet Hall quantique, le concept d'isolant topologique ou les électrons de Dirac dans le Graphene.

La prochaine révolution pourrait provenir de la nanophotonique qui, par analogie avec l'électronique, est l'activité qui entend transporter et traiter une information en utilisant des courants de photons. La lumière est actuellement utilisée pour le transfert d'informations à longue distance, à l'aide par exemple de fibres optiques. Dans le domaine des télécommunications, la fréquence élevée des ondes électromagnétiques (centaines de THz) augmente les débits de transmission d'un facteur 1000 par rapport aux lignes électriques. Toutefois, une fois acheminée vers l'utilisateur l'information optique est actuellement convertie en information électrique puis traitée par les microprocesseurs. Cette conversion est énergivore et ralentit le processus de traitement de l'information à la fréquence d'oscillation des courants électriques. Pour contourner ce problème, il est donc nécessaire d'élaborer des composants photoniques capables de traiter optiquement l'information sans avoir recours à la conversion photon – électron. Pour cela, différentes approches basées sur la nano-structuration de la matière ont été développées ces 20 dernières années (ci-après). D'un point de vue fondamental, ces nouvelles micro ou nano-structures photoniques ouvrent de nouveaux champs d'étude car elles permettent de mesurer des paramètres habituellement inaccessibles comme l'amplitude et la phase des fonctions d'onde dans l'espace réel ou réciproque, l'excitation résonante d'un état spécifique, la mesure résolue en temps, et tout cela dans des systèmes artificiels où on peut totalement contrôler les paramètres.

## Les cristaux photoniques : piéger la lumière dans des structures périodiques

Dans les années 80 est apparu le concept des cristaux photoniques, des matériaux semi-conducteurs (en silicium par exemple) structurés à l'échelle de la longueur d'onde des photons (centaines de nanomètres). Ces cristaux artificiels, dont l'indice optique est modulé périodiquement dans plusieurs directions spatiales, présentent des bandes d'énergie autorisées ou interdites pour les photons. Il est possible de créer des analogues photoniques de tous les types de bandes électroniques, des nouvelles formes de bandes n'existant pas à l'état naturel et d'émuler des champs magnétiques ou électriques pour les photons. L'équation du mouvement pour les photons devient analogue à l'équation du mouvement pour un électron placé dans un champ électrique ou magnétique (Fig. 1). Ces propriétés sont utilisées pour réaliser des cavités optiques de grande qualité, des guides d'ondes, des filtres optiques dont les dimensions sont de l'ordre de la longueur d'onde des photons, ou émuler l'effet Hall quantique dans un système photonique. Le fort confinement spatial de la lumière augmente également son interaction avec la matière ce qui rend envisageable un contrôle actif des cristaux photoniques. Des progrès récents ont par exemple montré la possibilité de modifier fortement les propriétés de transmission de cristaux photoniques via une commande optique.

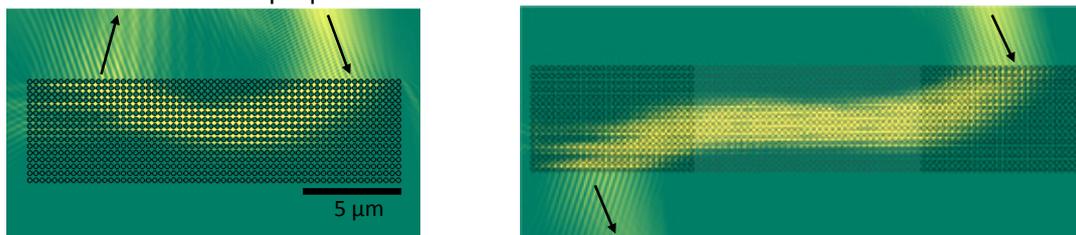


Fig. 1 : Mirage optique dans un cristal photonique à gradient de maille. *Opt. Lett.* 30, 2278-2280, 2005.

## Les métamatériaux : contrôler la lumière avec des formes

Une seconde révolution a secoué le monde de la photonique durant les années 90 avec l'avènement des métamatériaux. Ces matériaux fabriqués par la main de l'homme sont constitués de résonateurs métalliques ou diélectriques - les méta-atomes - disposés périodiquement dans l'espace mais à des distances sub-longueur d'onde. Dans ces conditions, les résonances électriques et magnétiques des méta-atomes confèrent aux matériaux des

permittivités et perméabilités effectives irréalisables dans la nature. Un des résultats marquant est la réalisation de métamatériaux d'indice optique négatif à la base de la conception de lentille plate au pouvoir de résolution dépassant la limite de diffraction. La dimension et la forme des méta-atomes influant directement sur l'indice optique effectif, un contrôle sans précédent de la lumière a également été démontré avec l'élaboration « d'une cape d'invisibilité » capable d'occulter une région de l'espace placée en son sein pour un observateur extérieur, (Fig. 2). Ces découvertes fondamentales sont actuellement valorisées au travers de nouvelles antennes ultra-compactes.

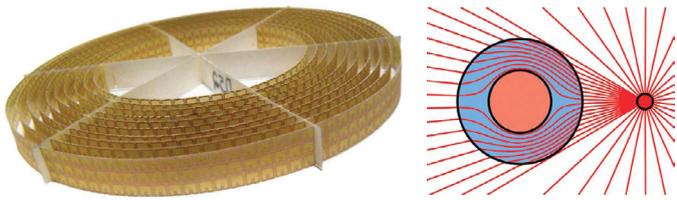


Fig. 2 : Cape d'invisibilité fonctionnant dans le domaine micro-onde. La lumière contourne la région centrale la rendant invisible depuis l'extérieur. *Science* 314, 977 (2006).

## La Polaritonique : hybrider la lumière avec la matière

Les Polaritons sont des modes photoniques mélangés avec des excitations électroniques des métaux (plasmons) ou des semiconducteurs (excitons).

Les plasmon-polaritons, (couramment appelés plasmons) les plus utilisés sont les plasmons de surface qui permettent d'obtenir une grande densité de champ électromagnétique et des modes de très petite taille. Cette qualité permet d'imaginer une miniaturisation accrue des systèmes photoniques, un potentiel important pour la réalisation de détecteurs, ou pour l'extraction ultra-rapide de lumière. Le défaut de principe de la plasmonique est lié aux pertes induites par la forte dissipation dans les métaux.

Les exciton-polaritons, (couramment appelés polaritons) sont peu dissipatifs et se comportent comme des photons interagissant les uns avec autres et avec le milieu. Si on crée localement des charges électriques, un flux de polaritons va interagir avec le potentiel créé et être dévié. Les polaritons sont prometteurs pour la réalisation de sources laser, de composants optiques non-linéaires, de transistors optiques avec des consommations d'énergie très faibles et facilement intégrables. Leur utilisation à température ambiante nécessite néanmoins l'utilisation de semi-conducteurs à grand gap (GaN, ZnO) difficile à maîtriser technologiquement. D'un point de vue fondamental, les équations d'évolution des polaritons sont celles d'un fluide quantique, comme l'Hélium, mais d'un fluide quantique de lumière. Cette plateforme permet d'émuler de nombreux effets physiques : des effets typiques des fluides quantique tels que la superfluidité, comme la prolifération de défauts topologiques dans l'univers primordial (mécanisme de Kibble-Zurek),

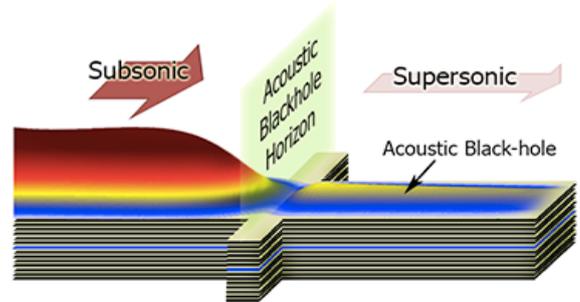


Fig. 3. La frontière entre un flux sub-sonique et supersonique représente pour les excitations acoustiques l'analogie de l'horizon d'événement d'un trou noir. Leur réalisation à partir de fluides quantiques de lumière (*Phys. Rev. Lett.* 114, 036402, 2015). permettra l'étude des processus spontanés, comme l'émission de Hawking.

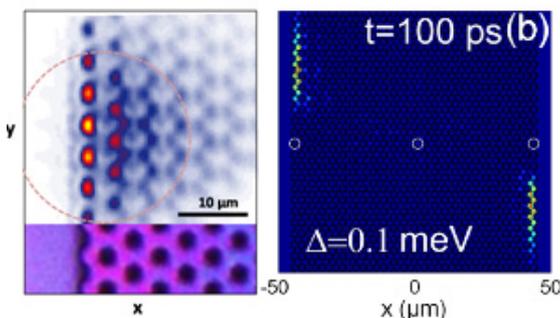


Fig. 4. Gauche (expérience) : Luminescence des états de bords d'un graphène polaritonique fabriqué au LPN, CNRS marcoussis (*2D Mater.* 2, 034015, 2015). Droite (Simulation) : Propagation unidirectionnel de la lumière sur les bords d'un graphène polaritonique. La lumière générée au niveau des points blancs ne peut se propager que sur les bords, et dans une direction unique en analogie avec les isolants topologiques basés sur « l'Effet Hall Quantique Anormal » (*Phys. Rev. Lett.* 114, 116401, 2015). Cet effet peut permettre la suppression des réflexions parasites qui sont problématiques pour la réalisation de circuits photoniques intégrés.

## Conclusion

La photonique est un domaine de l'ingénierie qui joue un rôle clef, notamment, pour le développement des technologies de l'information et de la communication. De surcroît, les nouveaux systèmes photoniques à disposition représentent autant de plateformes extrêmement flexibles, permettant d'émuler, étudier, comprendre une très vaste gamme d'effets fondamentaux. La maîtrise de ces effets sera sans aucun doute porteuse de révolutions technologiques majeures dans les prochaines décennies.

## MOBILITE : Najoua Essoukri Ben Amara à l'IP



Sous l'impulsion de J.-P. Dérutin, l'axe **ISPR** collabore depuis plus de trois ans avec le professeur **Najoua Essoukri Ben Amara** qui dirige la structure de recherche **SAGE** au sein de l'école nationale d'ingénieurs de Sousse-**ENISO** (Tunisie). Les thématiques abordées concernent la vision par ordinateur pour l'analyse de scènes ainsi que le développement d'applications de traitement d'images embarquées sur caméras intelligentes. De nombreuses actions de recherche et de valorisation ont été menées (thèses en cotutelle, co-encadrement de master, PFE, organisation de manifestations scientifiques, échanges de professeurs visiteurs...), grâce notamment au labex **IMobS3**. Un travail conséquent a été mené sur la détection et le suivi multi-objets pour l'analyse du trafic routier, l'amélioration des conditions de mobilité dans les pays développés ou en cours de développement étant un enjeu sociétal et environnemental important (pollution et temps perdu). Les résultats obtenus sont en cours d'exploitation dans la société **Logiroad**, partenaire du projet.

Les futurs travaux s'orientent vers une extension de ces méthodes de transfert d'apprentissage pour les machines de type réseaux de neurones profonds. Ces techniques conduisent à des performances très proches de celles d'un humain ; ce qu'a montré par exemple google avec sa machine **Alphago**. L'empilage de couches de neurones les unes derrière les autres, permet de construire un modèle non linéaire très performant et facile à apprendre à partir d'un grand nombre de données. Ces gros réseaux, initialement appris sur des clusters de grande dimension par les géants de l'informatique (Google, Microsoft, Facebook) à partir de très grosses bases d'images provenant du net, sont mis à la disposition de la communauté scientifique qui les ajuste en fonction de leurs applications. **ISPR** et **SAGE** proposent des méthodes pour transférer les connaissances issues de ces réseaux vers des données plus riches (multi-modales, spatio-temporelles), telles que celles que l'on retrouve dans les applications robotiques. La collaboration entre **ISPR** et l'**ENISO** pourrait aussi conduire, dans un futur assez proche, à la mise en place d'un Master en co-diplomation, facilitant ainsi les échanges d'étudiants.

<http://www.sage-eniso.org/>

## PARTENARIATS : La biorégénération en réseau

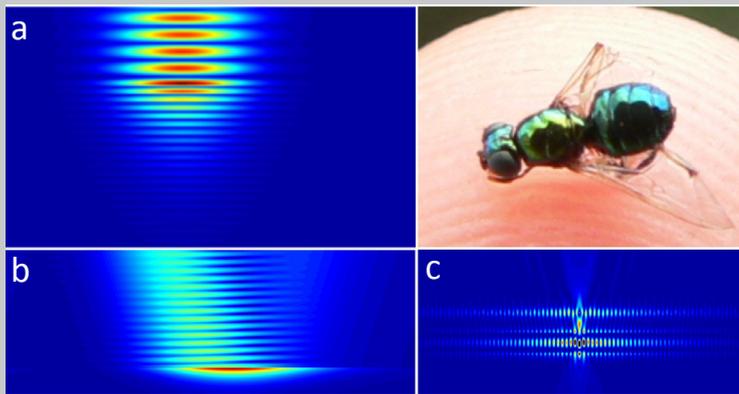
L'axe **GePEB** de l'Institut Pascal est impliqué dans le développement d'un écosystème clos biorégénératif, depuis plus de 25 ans, dans le cadre du Memorandum Of Understanding « **MELISSA** » (Micro-Ecological Life Support System Alternative), coordonné par l'ESA et comprenant de nombreux partenaires académiques et privés. Cette action permet une forte visibilité internationale, avec des relations en Europe, Russie (Moscou, Krasnoyarsk), Canada, Etats-Unis (NASA) sur le sujet « écosystèmes clos artificialisables ». Ainsi, des interactions fortes existent avec l'Université Autonome de Barcelone où est installé le centre d'essais, ainsi que des partenariats suivis avec les universités de Mons et Gand (Belgique), Guelph (Canada), Lausanne (Suisse) et le SCK-CEN (équivalent du CEA en Belgique).

L'axe **GePEB** a également noué des liens réguliers avec les sociétés Sherpa Engineering (France), Vito (Belgique) et EnginSoft (Italie) et plus récemment dans le domaine spatial avec Thalès Alenia (Italie), RUAG (Suisse) et Qinetics (Belgique) pour les technologies spatialisables.



[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/Melissa/Targets\\_Scientific\\_domains](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Melissa/Targets_Scientific_domains)

## INNOVATION : Le Logiciel qui fait MOOSH !



(a) Réflexion par un miroir de Bragg dans lequel la lumière pénètre avant d'être totalement réfléchi (b) Excitation des résonances de plasmons de surface (c) Excitation d'une boucle de lumière par une source placée dans un guide d'onde diélectrique.

Moosh est un programme qui permet de retrouver par la simulation toutes les propriétés optiques d'un objet constitué de multiples couches successives de matériaux différents. Si la nature a su nous montrer la complexité avec laquelle la lumière se reflète, par exemple sur le dos des mouches pour les rendre bleues ou vertes, l'industrie a su tout aussi bien exploiter ces propriétés pour améliorer notre quotidien, depuis les traitements anti-reflets sur les verres de nos lunettes jusqu'aux cellules photovoltaïques qui permettent de produire de l'énergie.

Pendant des années, ce programme a été utilisé par les chercheurs de l'Institut Pascal (**PHOTON**) pour étudier les cristaux photoniques (des miroirs à base de matériaux transparents utilisés dans certains lasers), le déplacement de la lumière à la surface des métaux (les plasmons de surface), les méta-matériaux (matériaux composites artificiels) ou les carapaces d'insectes. Le code que les chercheurs libèrent aujourd'hui pour la communauté est conçu exactement comme un couteau suisse, avec énormément d'outils différents pour trouver comment la lumière est émise, réfléchi, absorbée ou diffusée par les matériaux. Et comme un couteau suisse, il est facilement utilisable : des élèves de 3ème ont déjà été capables de le prendre en main en quelques heures pour illustrer les lois de Descartes de la réfraction. Moosh est un code particulièrement rapide, stable et largement testé. Il est désormais disponible librement pour les chercheurs, les étudiants, les industriels ou les curieux avec l'espoir qu'il soit largement utilisé.

**La publication :** <http://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.100/>

**Version simplifiée pour l'enseignement :** <http://cloud.ip.univ-bpclermont.fr/~moreau/moosh/>

**Contact :** [antoine.moreau@univ-bpclermont.fr](mailto:antoine.moreau@univ-bpclermont.fr)

## MON PROGRAMME à L'IP : Le devenir d'un matériau d'avenir selon R. Moutou-Pitti

Le projet **ANR JCJC CLIMBOIS N° 13-JS09-0003-01**, Labellisé par ViaMECA, aborde le problème de la durabilité des constructions bois soumises aux variations climatiques et mécaniques complexes.

Depuis de nombreuses années, des travaux sont menés par l'axe **MMS** à l'Institut Pascal et par les partenaires du projet (GEMH-Université de Limoges, LOFIMS-INSA Rouen, GeM-Université de Nantes, LBMS-Université de Bretagne Occidentale) sur la durabilité du matériau et des structures bois soumis à divers chargements mécaniques et environnementaux.

Cependant, la conjugaison du comportement anisotrope, du caractère viscoélastique et la nature orthotrope du bois, rend sa compréhension très complexe. Cette complexité est décuplée par l'apparition, lors de diverses sollicitations, des fissures de cinétiques mixtes exigeant une analyse fine des modes de rupture. Au regard de ces différents verrous scientifiques, il est nécessaire de comprendre le comportement différé et la rupture du matériau bois en s'appuyant sur les domaines pluridisciplinaires de la mécanique.



**Lien du site :** <http://www.univ-brest.fr/anr-climbois/>

## MA THESE A L'IP : Mohamed Cheikh TEGUEDI teste le bitume (MMS)



La caractérisation du comportement mécanique des enrobés bitumineux et particulièrement les enrobés bitumineux recyclés est une problématique qui concerne directement la durabilité des infrastructures routières de transport. Jusqu'à présent, ces matériaux ont surtout été étudiés à l'échelle macroscopique. Les présents travaux de ma thèse visent à étudier le comportement mécanique des enrobés bitumineux à l'échelle de leurs constituants. La méthode de mesure de champs utilisée est la méthode de la grille dont l'algorithme est développé et utilisé au laboratoire. Les informations apportées par cette méthode lors d'essais de compression sont très riches et ont permis de comprendre le comportement des fraisats d'enrobés au sein des enrobés bitumineux étudiés. Le deuxième volet de mon travail consiste à appliquer

la méthode aux enrobés sous chargement thermique. Les résultats doivent permettre d'apporter les informations très riches nécessaires à la compréhension des mécanismes de déformations ainsi qu'à l'identification des propriétés thermiques de ces matériaux.

*Thèse réalisée sous la direction de Evelyne Toussaint, co-directeur Michel Grédiac, co-encadrant Benoit Blaysat. Financement Région CPER, partenariat avec le CEREMA de Clermont.*

### Les énigmes du professeur Richetin

- 1) Soit ABCD un quadrilatère tel que les angles :  $CAD=25^\circ$  ;  $ACD = 45^\circ$  ;  $BAC = BCA$ . Combien vaut l'angle DBC ?
- 2) Si on place au hasard 3 points sur un cercle, quelle est la probabilité qu'ils appartiennent tous les trois à un demi-cercle ?
- 3) Une suite de nombre est écrite au tableau. Les deux premiers nombres sont 1 et 2. Le troisième est :  $1+2+(1 \times 2) = 5$  ; le quatrième :  $2+5+(2 \times 5)=17$ . Ainsi, si m et n sont deux nombres consécutifs de la suite, le suivant est :  $m+n+(m \times n)$ . Donner une expression générale de tous les nombres qui seront inscrits.

Réponses sur <http://www.ip.univ-bpclermont.fr/index.php/fr/newsletter>

### Ce n'est pas de la science..., mais c'est pas mal quand même !

Trumpet ou trompette ?

Miles\* l'avait classieuse et précieuse, Chet\* mélancolique ; Wynton\* l'a livresque, flamboyante et virtuose ; Erik\* l'a mélodée, aventureuse. Ibrahim Maalouf pare sa trompette d'une urbanité contemporaine, matinée d'évidence orientale. Et c'est à son somptueux Red & Black Light\*\* que ce billet vous invite à vous abandonner. On tague au doux déséquilibre du titre éponyme\*\*\* dont on ne sait s'il nous porte en majeur de do ou en mineur de la. On entre en ritournelles, reprises en emphases de quartet, étirées en trompette solo où se pointe en lousdé l'Orient. Et comme le Jazz est bousculade des rythmes, les drums nous chahutent en plein milieu du gué. Réservez votre soirée du 6 décembre : Maalouf nous convie au Zénith d'Auvergne... et au zénith !

\* Davis, Baker ; Marsalis ; Truffaz

\*\* Album, 2015

\*\*\* : <https://www.youtube.com/watch?v=UNaJjWTEEDs>

<https://www.youtube.com/watch?v=YYDOIzmAQxQ>

### Mais qui a dit ça ?

« Placez votre main sur un poêle une minute et ça vous semble durer une heure. Asseyez vous auprès d'une jolie fille une heure et ça vous semble durer une minute. C'est ça la relativité. »

Réponse sur <http://www.ip.univ-bpclermont.fr/index.php/fr/newsletter>

Directeur de la publication : Michel Dhome. Auteurs : Les membres de l'IP  
Conception et réalisation : Christèle Ballut