N°108

Photoniques

LA LUMIÈRE ET SES APPLICATIONS

FOCUS Allemagne

EXPÉRIENCE Localisation d'Anderson

COMPRENDRE Limite de diffraction

ACHETER Soudeuse pour fibre

DOSSIER

OPTIQUE ET SPINTRONIQUE

- Transitions photoinduites ultrarapides : un axe émergent pour la photonique
- Microscopie magnétique à spin unique
- Retournement d'aimantation dans un dispositif « Spintronique » par impulsion d'électrons unique ultra-courte
- La lumière change de couleur pour révéler les ordres couplés de la matière

+

Dépasser la limite de diffraction en microscopie de fluorescence

France/EU : 19 € | Reste du monde : 25 €

Éditorial

NICOLAS BONOD
Rédacteur en chef

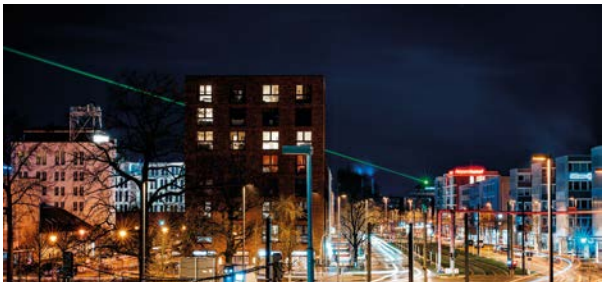
Photoniques fête ses 20 ans !!

L'année 2021 est une année anniversaire pour Photoniques. En 2001 paraissait en effet le premier numéro de la revue. Lorsque l'on se retourne sur ces 20 dernières années, on réalise combien la photonique a su évoluer et progresser, tant sur le front des connaissances que sur celui des technologies et des applications. Ce vingtième anniversaire est l'occasion de donner la parole à des acteurs marquants de la photonique. L'objectif étant de vous faire partager leur regard sur les évolutions majeures de la photonique mais aussi sur les défis et enjeux à venir. Nous donnons la parole dans ce numéro à Pierre Chavel, membre d'honneur de la SFO et récipiendaire du prestigieux « Robert E. Hopkins Leadership Award » de l'OSA.

Qui aurait pensé il y a 20 ans que nous consacrions aujourd'hui un dossier spécial sur la photonique pour la spintronique ? Certes les expériences pionnières couplant photonique et spintronique remontent au milieu des années 1990, mais les progrès réalisés depuis dans ces 2 domaines scientifiques sont tels qu'il était nécessaire d'y consacrer aujourd'hui un dossier spécial. Ce thème montre d'ailleurs combien la photonique a su investir un nombre croissant de domaines scientifiques. Ces recherches n'auraient pu être menées sans les progrès spectaculaires réalisés sur les lasers impulsionnels. Vous découvrirez comment les expériences « pompe – sonde » permettent de mesurer les transformations induites par la lumière sur la matière, ou bien comment une seule impulsion femtoseconde permet de retourner l'aimantation d'une couche ferromagnétique, on parle de femtomagnétisme, ou comment l'optique non linéaire est utilisée pour sonder le couplage d'ordres ferroïques. Les techniques de microscopie en champ proche permettent également de sonder le magnétisme en mesurant optiquement les modifications induites sur des centres colorés. C'est l'ensemble de ces techniques optiques qui permettent aujourd'hui de sonder et de contrôler les états et les propriétés de la matière condensée que ce dossier met en valeur.

S'il est un domaine qui a fortement évolué ces 20 dernières années, c'est bien celui de la microscopie de fluorescence. L'article de la rubrique Comprendre nous explique comment les techniques de microscopie de fluorescence permettent de franchir la limite de résolution établie par Ernst Abbe. Le prix Nobel de Chimie 2014 avait d'ailleurs récompensé les travaux pionniers de S. Hell en microscopie STED et de W. Moerner et E. Betzig en microscopie SMLM, microscopie basée sur l'observation de molécules uniques. Depuis ces travaux fondateurs, ces techniques basées sur un contrôle déterministe (STED) et stochastique (SMLM) de l'émission de fluorescence ont fortement progressé. Leur niveau de maturité est tel que ces différentes techniques sont aujourd'hui associées pour sonder le vivant à des échelles encore plus petites.

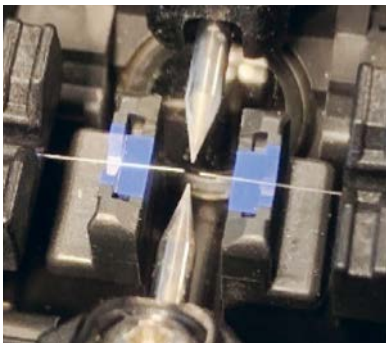
À l'heure où j'écris ces lignes, quelques semaines nous séparent encore de l'événement majeur de l'optique francophone en 2021, le congrès de la SFO Optique Dijon. Photoniques sera bien évidemment présent à ce rendez-vous incontournable, et c'est avec une impatience certaine que je me prépare à retrouver l'effervescence des grand congrès. Je vous dis donc à très bientôt et vous souhaite une bonne lecture.



16 **FOCUS**
La photonique
en Allemagne

44
Comprendre :
Dépasser la limite
de diffraction
en microscopie
de fluorescence

49
Acheter
une soudeuse
pour fibres
optiques



Sommaire

www.photoniques.com **N° 108**

ACTUALITÉS

03 Éditorial et actualités de la SFO
04 Informations partenaires
13 Actualité de la Photonique

TÉMOIGNAGES

12 Interview de Pierre Chavel
14 Témoignage d'entrepreneur

FOCUS

16 La photonique en Allemagne

BIOGRAPHIE

22 Léon Brillouin

EXPÉRIENCE MARQUANTE

25 Localisation d'Anderson de la lumière

DOSSIER : OPTIQUE ET SPINTRONIQUE

28 Transitions photoinduites ultrarapides : un axe émergent pour la photonique
32 Microscopie magnétique à spin unique
36 Retournement d'aimantation dans un dispositif « Spintronique » par impulsion d'électrons unique ultra-courte
40 La lumière change de couleur pour révéler les ordres couplés de la matière

COMPRENDRE

44 Dépasser la limite de diffraction en microscopie de fluorescence

ACHETER

49 Une soudeuse pour fibres optiques

PRODUITS

53 Nouveautés

Annonceurs

2B Lighting Technologies 19
Alphanov 52
A.P.E. 19
Ardop 31
CIOE 33
Comsol 25
Edmund optics 13
Horiba 35
HTDS 29
Imagine optics 27
Laser Components 47
Menlo Systems 15
Opton Laser ..... IVe de couv
Scientec 37
Spectrogon 39
Spectros 45
Toptica Photonics 17
Trioptics 41
Wavetel 49
Yokogawa 43
Zurich Instruments ..... IIe de couv.

Crédit photo (couverture) :
© CNRS (Vincent Jacques) et Université de Basel (Patrick Maletinsky)

Photoniques

Photoniques est éditée par la Société Française de Physique, association loi 1901 reconnue d'utilité publique par décret du 15 janvier 1881 et déclarée en préfecture de Paris.

https://www.sfpnet.fr/

Siège social : 33 rue Croulebarbe, 75013 Paris, France
Tél. : +33(0)1 44 08 67 10
CPPAP : 0124 W 93286
ISSN : 1629-4475, e-ISSN : 2269-8418

www.photoniques.com

Le contenu rédactionnel de Photoniques est élaboré sous la direction scientifique de la Société française d'optique
2 avenue Augustin Fresnel
91127 Palaiseau Cedex, France
mariam.mellot@institutoptique.fr
Tél. : +33 (0)1 64 53 31 82

Directeur de publication
Jean-Paul Duraud, secrétaire général de la Société Française de Physique

Rédaction
Rédacteur en chef
Nicolas Bonod
nicolas.bonod@edpsciences.org

Journal Manager
Florence Anglézio
florence.anglezio@edpsciences.org

Editorial secretariat and layout
Studio wake up!
https://studiowakeup.com

Comité de rédaction
Pierre Baudoz (Observatoire de Paris), Azzedine Boudrioua (Institut Galilée, Paris 13), Émilie Colin (Lumibird), Céline Fiorini-Debuisschert (CEA), Riad Haidar (Onera), Wolfgang Knapp (Club laser et procédés), Patrice Le Boudec (IDIL Fibres Optiques), Christian Merry (Laser Components), François Piuzzi (Société Française de Physique), Marie-Claire Schanne-Klein (École polytechnique), Christophe Simon-Boisson (Thales LAS France), Costel Subran (F2S - Fédération des Sociétés Scientifiques), Ivan Testart (Photonics France).

Advertising
Annie Keller
Cell phone : +33 (0)6 74 89 11 47
Phone/Fax : +33 (0)1 69 28 33 69
annie.keller@edpsciences.org

International Advertising
Bernadette Dufour
Cell phone + 33 7 87 57 07 59
bernadette.dufour@edpsciences.org

Photoniques est réalisé par
EDP Sciences,
17 avenue du Hoggar,
P.A. de Courtaboeuf,
91944 Les Ulis Cedex A, France
Tél. : +33 (0)1 69 18 75 75
RCS : EVRY B 308 392 687

Gestion des abonnements
abonnements@edpsciences.org

Impression
Fabrègue imprimeur
B.P. 10
87500 Saint-Yrieix la Perche
Dépôt légal : juin 2021
Routage : STAMP (95)

L'édito de la SFO

PHILIPPE ADAM
Président de la SFO

Bonjour à toutes et tous !

Le trimestre écoulé n'a pas été de tout repos. La cible était claire : OPTIQUE 2021 à Dijon, mais le chemin pour l'atteindre était à construire. Les contraintes sanitaires nous ont obligés à envisager des solutions de repli, des plans B et autres alternatives : un exercice périlleux, tant le pilotage à vue sans certitude de succès est compliqué, avec une deadline fixe et un compte à rebours omniprésent : situation stressante !

On a tenu bon dans notre résolution à penser pouvoir organiser notre événement en 100% présentiel, exposition industrielle comprise. Même si la situation n'est pas encore revenue à la normale, avec l'éclaircie actuelle, notre choix s'est avéré le bon. En particulier, notre présence dans les locaux du Palais des Congrès, dans le respect des contraintes sanitaires et des mesures barrières, ne nécessitera pas de jauge spécifique selon la réglementation annoncée. L'organisation des cinq sessions thématiques parallèles nous offre ainsi une grande latitude. Les planètes commencent à s'aligner !

Notre congrès OPTIQUE 2021 se prépare donc activement. Moral au beau fixe puisque nous avons tous la sensation que la communauté est mobilisée : vous avez été très nombreux à répondre à l'appel à communications, témoin le nombre record de soumissions : une performance au top niveau avec 500 papiers proposés !

L'événementiel en distanciel a naturellement pris une importance croissante pendant cette période. Pour preuve la belle réussite des Journées d'Optiques Freeform, l'Imagerie Optique Non Conventionnelle (JiONC) : plus de 160 participants, en augmentation de plus 100% par rapport à l'occurrence précédente.

D'autres événements sont prévus en format distanciel : JCOM, École Thématique, … Nul doute qu'ils feront aussi bien ; une attractivité à analyser précisément pour la prendre en compte dans l'évolution du format des années futures.

La SFO a continué néanmoins de vivre sa vie de Société Savante. Les adhésions individuelles et collectives vont bon train, les dossiers de demande de parrainages se multiplient et la SFO modernise ses outils d'intervention pour le plus grand bénéfice des services proposés.

Enfin, signalons que la palette des prix SFO sera bientôt complète, le prix Arnulf Françon étant en cours de sélection du lauréat ou de la lauréate.

Nous sommes tous impatients de nous rencontrer pour une convivialité retrouvée. Merci à tous pour votre mobilisation et rendez-vous à Dijon, venez nombreux pour un événement qui devrait être … un grand cru !

Optiquement vôtre
Philippe ADAM

OPTIQUE Dijon 2021
100% en présentiel

Nous pouvons être satisfaits de la participation importante de notre communauté ainsi qu'en atteste un nombre de contributions record (près de 500 !). L'engagement des acteurs de l'Optique-Photonique a porté ses fruits et nous les remercions vivement.

Sessions thématiques des Clubs SFO

1. Biophotonique (Club PSV)
2. Cristaux pour l'Optique (Club JNCO)
3. Diagnostic Optique et Photonique (Club CDOP)
4. Fibres optiques et réseaux (Club CFOR)
5. Horizons de l'Optique (Club Horizon)
6. Lasers et Optique Quantique (Club COLOQ)
7. Lidar (Club Lidar) - Nouveauté 2021
8. Nanophotonique (Club Nanophotonique)
9. Optique adaptative (Club JRIOA)
10. Optique guidée (Club JNOG)
11. Photonique Organique (Club JNPO)

Et 3 commissions de la société Française d'Optique
1. Commission Enseignement pour les sessions pédagogiques
2. Commission Femmes et Physique pour la session plénière "Réussir la parité en Optique"
3. Commission Optique Sans frontières

Sessions plénières

Christoph BECHER, Université Sarrebruck Allemagne
How to change the color of a single photon (and why this is useful for quantum networks)

Christian BRACCO, Observatoire de Paris Université Nice Sophia Antipolis
L'optique et l'électrodynamique des corps en mouvement : possibilité d'un enseignement de la relativité par les TL de 1895

Sara DUCCI, Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques Université Paris
Génération d'états quantiques de la lumière dans des puces AlGaAs : ingénierie et applications

Valentina EMILIANI, Institut de la Vision
Composants optiques non-linéaires hybrides sur puce : au delà de la photonique silicium

Rachel GRANGE, ETH Zurich Suisse
Nonlinear and Electro-Optic Metal-Oxides for Active Photonic Devices

Bertrand KIBLER, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne Dijon
Les ondes de respiration "breathers" en optique non-linéaire

Christelle MONAT, Institut des Nanotechnologies de Lyon
Composants optiques non-linéaires hybrides sur puce : au delà de la photonique silicium

Marie-Claire SCHANNE-KLEIN, Laboratoire d'Optique et Biosciences École Polytechnique Palaiseau
Imagerie par génération de second harmonique de l'organisation tridimensionnelle du collagène dans les tissus biologiques

Thomas SÜDMEYER, Université Neuchâtel Suisse
Ultrafast lasers and frequency combs: state-of-theartand new frontiers

Horizons de l'Optique propose cette année 7 conférences au format tutoriels :

Optique et Intelligence Artficielle, Sylvain Gigan, LKB (Paris)
Pinces Optiques, Karen Peronnet, LuMIn (Saclay)
Imagerie aux limites, Sandrine Levêque-Fort, ISMO (Orsay)
Métasurfaces Optiques, Patrice Genevet, CRHEA (Sophia Antipolis)
Nanooptique électronique, Ludovic Douillard, CEA (Saclay)
Mie Resonant Photonics, Nicolas BONOD, Institut Fresnel (Marseille)
Many Body Physics with atoms in optical tweezers, Igor Ferrier-Barbut, LCF (Saclay)

SESSION CONFÉRENCE RÉUSSIR LA PARITÉ EN OPTIQUE

Regard d'une sociologue sur l'état des lieux de la parité en optique et proposition d'actions.

Joëlle Braeuner est sociologue, spécialisée en sociologie du genre, de l'éducation et des discriminations.Elle nous présentera plusieurs pistes d'actions qui ont démontré leur utilité dans d'autres environnements pour que nous nous en emparions, et que nous progressions ensemble vers une plus grande parité en optique.

SESSION D'OUVERTURE D'OPTIQUE 2021 AVEC GÉRARD MOUROU PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2018

En attendant de vous rencontrer au palais des Congrès à Dijon très prochainement, un moment de retrouvailles en présentiel tellement attendu par nous tous et nous toutes.

www.sfoptique.org/pages/congres-optique/optique-dijon-2021/

Interview de Pierre Chavel

Pierre Chavel a travaillé comme chercheur CNRS dans les laboratoires de l'Institut d'Optique (IOGS) de 1972 à 2016 ; aujourd'hui retraité, il poursuit son activité à temps partiel sur le site stéphanois de l'IOGS et au laboratoire Hubert Curien. Il y anime l'activité pédagogique de l'EUR MANUTECH-SLEIGHT. Son implication dans les « sociétés savantes » de l'optique lui a valu des distinctions : membre d'honneur de la SFO (2016), il a reçu en 2021 le Robert E. Hopkins Leadership Award de l'OSA.

Pouvez-vous nous décrire l'histoire de la création de la SFO ?

Par leur efficacité comme réseaux d'interaction au service de la communauté scientifique sur la base des initiatives individuelles, les sociétés savantes m'ont toujours passionné. Lorsqu'une communauté de chercheurs ressent le besoin d'une concertation structurée, elle peut souhaiter former une nouvelle société savante. C'est ce qui s'est passé pour la SFO en 1983, avec une répartition équilibrée entre les activités industrielles, le secteur universitaire et les autres organismes publics de recherche. J'ai eu le plaisir de participer à son premier bureau, comme secrétaire puis comme trésorier. J'y ai également animé le club « opto-informatique » et ainsi que les écoles thématiques initiées par C. Froehly, G. Chartier et J.P. Goure. L'optique, tout en se développant de façon autonome, reste une branche de la physique : j'anime actuellement le concours pour lycéens « Olympiades de Physique France », et je participe à la commission SFO « Optique sans frontière » jumelée à la commission SFP « Physique sans frontière ». Au service de la communauté internationale de l'optique, je me suis également investi dans la Commission internationale d'optique, l'EOS, l'OSA et de SPIE.

Quel est votre parcours de recherche ?

Mes travaux concernent l'optique de l'information, du composant à l'instrument. Ils s'appuient sur la modélisation en optique physique : diffraction, interférences, speckle, et aussi optique électromagnétique. Ils ont été effectués en collaboration avec les membres de mon équipe et avec d'autres laboratoires que je regrette de ne pouvoir citer ici.

> *« La nanophotonique a un grand avenir même si elle a du mal à trouver toute sa place. »*

À l'époque de ma thèse, la puissance des ordinateurs était encore bien modeste et le traitement parallèle et analogique de tous les pixels d'une image était vu comme un point fort ; cette idée connaît d'ailleurs aujourd'hui de nouveaux développements passionnants dont témoignent les Journées d'optique non conventionnelle. Ayant découvert pendant un séjour sabbatique aux États-Unis les possibilités de traitement binaire par voie opto-électronique, j'ai poursuivi cette voie sous forme de démonstrations d'applications à la commutation par paquets et surtout aux processeurs d'image opto-électroniques. Il s'agissait cependant de processeurs spécialisés qui ne pouvaient mener à une activité économique viable.
Ce constat m'a amené à me réorienter vers les possibilités ouvertes par le développement des moyens de calcul pour modéliser l'optique électromagnétique, et par les technologies nanophotoniques naissantes pour donner naissance à de nouvelles catégories de composants optiques, et plus spécialement nanophotoniques.

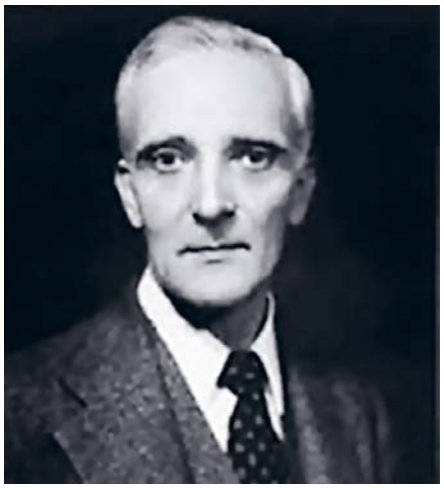
Quel regard portez-vous sur l'évolution des recherches en optique diffractive ?

Je citerai ici le rôle Philippe Lalanne, qui a pris l'initiative sur ce thème mais avec qui je collabore durablement. Vers 1998, nous avons été parmi les tout premiers à publier des résultats sur ce que l'on appelle aujourd'hui les « métasurfaces ». Les échantillons que nous avons conçus ont été fabriqués par nos partenaires de laboratoires experts en nanofabrication. La mise en forme de front d'onde par des nanostructures peut être réalisée par des composants d'épaisseur infime, de l'ordre de la longueur d'onde ; les travaux sur ce thème se sont grandement diversifiés depuis, toujours à la recherche de fonctionnalités plus riches, faisant naître une émulation intense, ce qui me réjouit.

Quelle thématique voyez-vous émerger et s'imposer ces 20 prochaines années ?

La nanophotonique a un grand avenir même si elle a du mal à trouver toute sa place. Je vois à cela deux obstacles : d'une part, le coût de fabrication, qui ne justifie que pour de grandes séries ou par une forte valeur ajoutée, et d'autre part, la rupture conceptuelle à opérer pour ne pas penser que les nouveaux composants vont se substituer aux anciens mais qu'ils vont ouvrir des voies entièrement nouvelles, ce que l'on voit déjà, par exemple dans certaines applications biomédicales ou en optique intégrée. Mais l'essentiel reste à venir !

Léon Brillouin (1889-1969)



Claude Fabre
Laboratoire Kastler Brossel, Sorbonne Université, ENS, CNRS,
Collège de France, Campus Pierre et Marie Curie, 75005 Paris, France
claude.fabre@lkb.upmc.fr

Léon Brillouin a été durant toute sa carrière au cœur des développements de la nouvelle physique quantique. Il lui a apporté des contributions majeures et originales, notamment en physique du solide. Il a participé à l'émergence d'une nouvelle discipline scientifique : l'informatique.

© sevres-92310.fr

https://doi.org/10.1051/photon/202110819

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

Léon Brillouin voit le jour le 7 Août 1889 à Sèvres, près de Paris. Il est l'héritier d'une impressionnante dynastie scientifique, qu'on en juge:

Il est le petit-fils d'Eleuthère Mascart (1837-1908), normalien, professeur au Collège de France et académicien, connu pour des recherches pionnières en optique, notamment pour des expériences sur l'influence du mouvement des sources lumineuses sur les phénomènes optiques, puis pour des travaux sur la définition des unités électriques, ce qui lui donne l'occasion de fréquenter les physiciens étrangers les plus éminents, comme H. Von Helmholtz et Lord Kelvin.

Il est le fils de Marcel Brillouin (1854-1948), lui aussi normalien, professeur au Collège de France et académicien, qui a apporté des contributions remarquées à la physique théorique dans de nombreux domaines, notamment les premiers balbutiements de la « mécanique ondulatoire ». Il a participé au premier congrès Solvay (1911).

Léon Brillouin est né deux mois après l'inauguration de la tour Eiffel, érigée à l'occasion de l'Exposition Universelle de 1889. C'est pour la France une période d'optimisme et de développement rapide dans la voie de la modernité et de l'innovation, même si les moyens accordés à la recherche et à l'enseignement supérieur ne sont pas souvent à la hauteur des ambitions affichées. Les Français suivent avec grand intérêt les progrès de la science et de la technologie. Léon Brillouin enfant baigne dans cette atmosphère de progrès. Il grandit dans un milieu intellectuel privilégié et stimulant. Les amis de ses parents et grands-parents sont de grands scientifiques français et étrangers. Léon Brillouin suit tout naturellement les traces de ses parents, et s'engage dans de solides études scientifiques: les lycées Henri IV et Louis le Grand, et en 1908 l'École Normale Supérieure, où il suit l'enseignement des grands noms de l'époque: Paul Langevin, Jean Perrin, Marie Curie, ainsi que les cours de son père. À la sortie de l'ENS, il fait preuve d'esprit d'indépendance — ce sera un des traits marquants de sa carrière. Nouvellement marié et agrégé, il décide de ne pas suivre la voie canonique: d'abord professeur du secondaire, puis du supérieur, en province •••

DATES CLÉS

1889
Naissance à Sèvres

1908
Admis à l'École Normale Supérieure

1920
Thèse de Doctorat: *la théorie des solides et les quanta*

1928
Professeur de Physique Théorique à l'Institut Henri Poincaré

1932
Professeur de Physique Théorique au Collège de France

puis à Paris. Il se rend en 1912 à Munich pour travailler auprès d'Arnold Sommerfeld, un acteur majeur de la « première théorie des quanta », qui lui propose d'étudier la propagation des ondes en milieu dispersif. C'est l'occasion pour Brillouin de préciser le rôle en physique de la notion d'information, et de préciser les différences entre propagation de l'énergie et propagation de l'information. De retour en France peu avant la déclaration de guerre, il commence à travailler à sa thèse. Il est mobilisé au Laboratoire Central de Radiotélégraphie Militaire dirigé par le colonel Ferrié, un grand promoteur de la Télégraphie Sans Fil et de son rôle stratégique. Délaissant la théorie pour la pratique, il conçoit des dispositifs novateurs, comme un amplificateur à résistance et même un avion automatique! Il dépose de nombreux brevets.

L. Brillouin (premier plan) à l'émetteur TSF « Radio-Paris » de Clichy (photo prise en 1925) www.infoamerica.org

À sa démobilisation en 1919, il se remet à son travail de thèse, qui concerne la théorie de l'état solide, pour lequel il obtient une bourse. Il l'aborde en utilisant les concepts de la physique classique pour traiter le couplage entre ondes élastiques et ondes électromagnétiques dans un cristal, qu'il accommode à l'aune de la première théorie des quanta. La fin de sa thèse, soutenue en 1920, concerne la diffusion de la lumière par un solide soumis à une onde de vibration. Elle contient une de ses contributions les plus importantes: la prédiction de l'apparition dans la lumière diffusée, en plus d'une composante à la fréquence de la lumière incidente, de deux raies satellites dont les fréquences sont séparées de la fréquence de la lumière incidente par la fréquence de l'onde ultrasonore : c'est « la diffusion Brillouin », un outil très utilisé pour l'étude des propriétés des solides.

La fin des années 20 voit l'émergence de la Mécanique Quantique proprement dite, qui est l'occasion d'un effort théorique proprement inouï, puisque des résultats essentiels à la base de la physique actuelle sont obtenus en l'espace de quelques années. Ce travail théorique se fait sous la houlette de Niels Bohr, qui organise de manière extrêmement efficace un réseau de très brillants physiciens qui sont en contact permanent. Soulignons que ce réseau ne comporte, pour des raisons qu'il faudrait élucider, aucun français autre que L. Brillouin. Celui-ci entretient de nombreux contacts avec cet aréopage et, comme Marie Curie, Louis De Broglie et Paul Langevin, participe aux conférences Solvay fondatrices de la mécanique quantique. Il contribue de manière significative au développement de la nouvelle physique: citons entre autres la méthode BKW (dont il est le « B ») de résolution approchée de l'équation de Schrödinger, qu'il a introduite en 1926, et des recherches sur le paramagnétisme. Il voyage beaucoup, aux USA, au Canada, en URSS. En 1932, il passe une année auprès de Niels Bohr à Copenhague.

Brillouin est depuis sa thèse intéressé par la théorie de l'état solide, dont les concepts-clés émergent rapidement grâce à l'utilisation de la nouvelle mécanique quantique et de la statistique de Fermi-Dirac. F. Bloch introduit les fameuses « fonctions de Bloch » pour l'onde électronique à une dimension. Brillouin généralise l'approche et résout le problème à 3 dimensions grâce à l'introduction en 1930 des « zones de Brillouin ». Il apporte ainsi une contribution majeure à la théorie des bandes, qui permet une approche globale des problèmes de conduction électrique dans les solides, et qui a conduit à la notion de semi-conducteurs.

Comme souvent en France, la carrière des physiciens, même internationalement connus, n'est pas vraiment rapide à cause du manque de postes: Brillouin est conférencier à l'École Supérieure d'Électricité de 1921 à 1931. Il devient de 1923 à 1928 sous-directeur au Collège de France attaché à la chaire de Paul Langevin. Il est nommé en 1928 professeur au nouvel Institut Henri Poincaré, créé grâce au mécénat de Rockefeller et de Rothschild, où des fonds sont réservés à l'invitation de professeurs étrangers afin

DATES CLÉS

1941
Émigration aux USA et engagement auprès des Forces Françaises Libres

1943-1945
Recherches sur le radar à Columbia University

1947-1949
Professeur de mathématiques appliquées à Harvard

1949-1954
Directeur de l'Éducation en électronique à IBM

1969
Décès à New York

réduire l'isolement de la recherche théorique française. Il succède en 1932 à son père à la chaire de physique théorique du Collège de France. Il s'intéresse au problème, alors non-résolu, de l'explication de la supra-conductivité, ainsi qu'à des problèmes plus appliqués d'acoustique. Il est maintenant un professeur éminent et reconnu, ayant apporté à la physique des contributions importantes, au seuil du prix Nobel, que malheureusement il n'obtiendra jamais. Il n'abandonne pas pour autant les recherches appliquées sur la radiodiffusion, une de ses premières amours, et publie de nombreux articles sur les câbles coaxiaux, les guides d'onde, les filtres électroniques, l'acoustique…

La période de la deuxième guerre mondiale voit Léon Brillouin engagé, malgré lui, dans un rôle non plus scientifique, mais politique: en 1939 il fait un long voyage à travers les USA, et, toujours intéressé par les progrès de la radio, constate le retard préoccupant, au niveau technique, de la radiodiffusion française. À son retour, en juin 1939, il s'en ouvre dans un rapport au ministre des PTT. Le premier ministre d'alors, Édouard Daladier, le nomme directeur général de la radiodiffusion française (un cadeau empoisonné vu la tourmente qui s'annonce). Sa mission consiste essentiellement à installer en France des émetteurs radio à ondes courtes de grande puissance. Pendant la débâcle, il détruit des émetteurs radio Français pour qu'ils ne puissent pas être utilisés par les occupants. Après la défaite de Juin 1940, il conserve son attribution auprès du gouvernement de Vichy, situation fort inconfortable, d'autant plus que sa femme est juive. Il réussit à émigrer aux USA en janvier 1941. Il se retrouve à New-York avec de nombreux autres scientifiques éminents qui se mettent au service des Forces Françaises Libres. Il prend contact avec ses collègues du MIT et d'Harvard, travaille sur la théorie du magnétron, générateur micro-onde essentiel pour le radar, enseigne dans différentes universités et, à l'Université Columbia de New-York, participe aux recherches de défense sur le développement du radar dans le groupe de mathématiques appliquées. À la Libération, Brillouin est accusé de collaboration par une commission d'épuration. Il finit par être totalement blanchi en 1946. En 1947 il décroche un poste de professeur à Harvard tout en assurant jusqu'en 1949 une partie de ses cours au Collège de France. À partir de 1949, Brillouin se tourne définitivement vers les USA, participant comme tant d'autres scientifiques européens au « brain drain » depuis une Europe exsangue et ruinée vers ce pays devenu, par son dynamisme et sa richesse, la terre promise de tous les physiciens: il quitte son poste au Collège de France pour un emploi à IBM de directeur du service de l'éducation en électronique, et prend la nationalité américaine. De 1954 jusqu'à sa mort il est professeur adjoint à l'Université Columbia.

L'immédiat après-guerre, avec le développement des premiers ordinateurs, voit naître une nouvelle discipline scientifique: l'informatique. Brillouin, par sa double position à IBM et Harvard, est à l'épicentre du développement de ce nouveau champ de recherche théorique et s'engage à fond dans ce domaine nouveau. Il s'intéresse à la théorie de l'information, en plein essor avec Shannon, Landauer, Wiener…, et plus particulièrement aux rapports entre information et entropie statistique. Il introduit le concept de « néguentropie ». Il est élu à l'académie des sciences des USA et donne de nombreuses conférences dans le monde, notamment sur les développements de la physique du solide, un domaine dont il est considéré à juste titre comme l'un des pères fondateurs. Il écrit plusieurs livres d'épistémologie, mais n'arrête pas pour autant son activité de chercheur, notamment par des travaux pionniers, dans la lignée de ceux de Poincaré, sur les systèmes dynamiques et l'indéterminisme lié à l'instabilité.

Il meurt à New York d'un cancer le 4 octobre 1969. Léon Brillouin a apporté des contributions importantes à de très nombreux domaines de physique théorique et mathématique, aussi bien fondamentale qu'appliquée. Curieux de tout, il est toujours aux avant-postes du domaine dans lequel il s'investit. Il s'intéresse aussi bien à la théorie la plus fondamentale qu'aux développements technologiques et industriels et aux aspects épistémologiques et philosophiques de ses recherches. Il n'hésite pas à déposer des brevets. Il reprend les problèmes à la base et travaille généralement seul, sans collaborateurs, ce qui ne l'empêche pas d'avoir de très fortes connections avec la communauté scientifique internationale grâce à de fréquents voyages. Il est un des rares physiciens français de cette époque à avoir effectué à deux reprises de longs séjours dans des laboratoires européens. Brillouin est une personnalité qui ne suit pas les chemins tout tracés, ce qui, avec son émigration aux USA, l'a fait quelque peu oublier du milieu de la physique française, mais l'importance de son apport à la physique des ondes, ondes sonores, ondes lumineuses ou ondes quantiques de matière est incontestable.

BIBLIOGRAPHIE

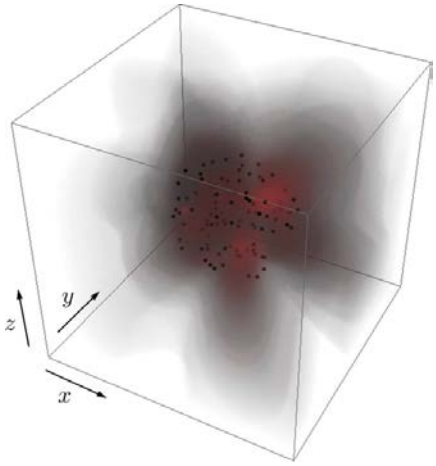
Rémy Mosseri, *Léon Brillouin à la croisée des ondes*, Belin (Paris 1999)

Dominique Pestre, *Physique et physiciens en France 1918-1940*, éditions des archives contemporaines, (Paris 1984)

Histoire générale des Sciences, tome 3 volume 2, sous la direction de René Taton, Presses Universitaires de France (Paris 1964)

LOCALISATION D'ANDERSON DE LA LUMIÈRE

Sergey SKIPETROV[1]
[1]Université Grenoble Alpes, CNRS, LPMMC, 38000 Grenoble, France
***Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr**



Un tas de poussière capable de capturer la lumière plus efficacement qu'une cavité Fabry-Perot finement réglée ? Un laser qui n'a pas besoin de réglage et dont la structure est aléatoire ? Tout cela peut devenir possible grâce au phénomène découvert par Philip Anderson il y a plus de 60 ans. Les idées apparues en physique du solide sont aujourd'hui exploitées par les opticiens qui essayent de tirer profit de la nature aléatoire de nombreux matériaux.

https://doi.org/10.1051/photon/202110824

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

LOCALISATION D'ANDERSON COMME PHÉNOMÈNE D'INTERFÉRENCE

La localisation d'Anderson est un phénomène d'interférence menant à un arrêt de propagation d'une onde à travers un milieu désordonné. L'article original d'Anderson considérait le problème de conductivité électrique d'un matériau désordonné refroidi à basse température (voir encart) dans un modèle où un électron pouvait « sauter » d'un site à l'autre avec une certaine probabilité, et où les énergies associées aux sites étaient aléatoires [1]. L'observation de la localisation d'Anderson dans les conducteurs électriques demande de travailler avec de petits échantillons refroidis à basse température pour s'assurer que les effets d'interférence quantique se manifestent. Et même dans ces conditions, la localisation est perturbée par les interactions entre les électrons et entre les électrons et les phonons. Cela rend difficile l'étude expérimentale du phénomène dans sa forme « pure ».

LOCALISATION D'ANDERSON DES ONDES CLASSIQUES

En réalisant l'analogie entre l'équation de Schrödinger pour un électron et l'équation d'onde, les physiciens ont proposé de chercher la localisation d'Anderson pour la lumière, les micro-ondes, le son et autres ondes « classiques » [2]. Travailler avec les ondes semblait bien pratique : les sources cohérentes — des haut-parleurs acoustiques, des antennes micro-ondes ou encore des lasers optiques — étaient disponibles à température ambiante, les interférences pouvaient être observables à grande échelle limitées essentiellement par la longueur de cohérence de la source d'onde (jusqu'à quelques mètres pour la lumière), et le régime linéaire de propagation sans aucune interaction notable entre les ondes facilement réalisable. Toutefois, plusieurs difficultés supplémentaires sont apparues rapidement. Tout d'abord, un désordre fort s'est trouvé difficile à réaliser. Pour la lumière en particulier, le désordre résulte des fluctuations de l'indice de réfraction n, or ce dernier est limité entre 1 et ~4 pour les matériaux connus. Il est donc impossible de fabriquer un matériau où n varie plus de quatre fois d'un point à l'autre. Ensuite, la diffusion des ondes est résonnante : une diffusion forte ne peut avoir lieu que si l'échelle des variations spatiales de n est de l'ordre

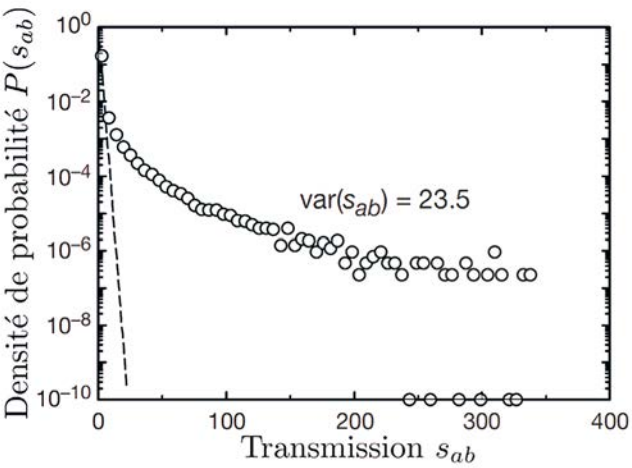
de la longueur d'onde λ. Et finalement, les ondes ont la particularité d'être absorbées par le milieu et une simple mesure de transmission d'une onde à travers un milieu ne suffit pas pour conclure sur la présence ou pas du phénomène de localisation d'Anderson car un faible signal peut être dû aussi bien à la localisation qu'à l'absorption.

LOCALISATION D'ANDERSON DE LA LUMIÈRE EN BASSES DIMENSIONS

Les difficultés décrites ci-dessus ont demandé du temps pour être contournées. La première mesure non ambigüe de la localisation des ondes électromagnétiques (fréquence ~10 GHz) a été réalisée par le groupe de A. Genack en 2000 [3]. L'idée était de restreindre la propagation des ondes dans deux directions spatiales en plaçant le milieu désordonné composé de sphères d'alumina (~1 cm de diamètre) dans un guide d'onde, et de laisser le désordre faire le travail dans la troisième direction parallèle à l'axe du guide d'onde. La localisation a été mise en évidence par les fluctuations de l'intensité transmise qui devenaient particulièrement grandes (Fig. 1).

Une plateforme très élégante permettant d'observer la localisation d'Anderson à deux dimensions (2D) a été réalisée par le groupe de M. Segev en 2007 [4]. Les chercheurs ont gravé un réseau de guides optiques parfaitement parallèles dans un cristal photo-réfractif. La propagation d'un faisceau lumineux le long de ce réseau est décrite par une équation parabolique de l'optique paraxiale. Cette dernière équation est équivalente à l'équation de Shrödinger 2D où la troisième dimension z joue le rôle du temps $t = z/c$ avec c la vitesse de lumière. Suivre l'évolution du profil du faisceau avec z permet d'observer sa localisation dans le plan transverse lorsque les guides sont positionnés au hasard (Fig. 2).

Figure 1. Distribution statistique de l'intensité transmise à travers un guide d'onde désordonné dans le régime de localisation d'Anderson (cercles). La distribution présente une « queue » prononcée par rapport à la distribution de Rayleigh attendue dans le régime de diffusion (ligne en pointillé). Sa variance var(s_{ab}) est également bien supérieure à la valeur de 1 pour la distribution de Rayleigh. Figure reproduite de [3] avec permission.

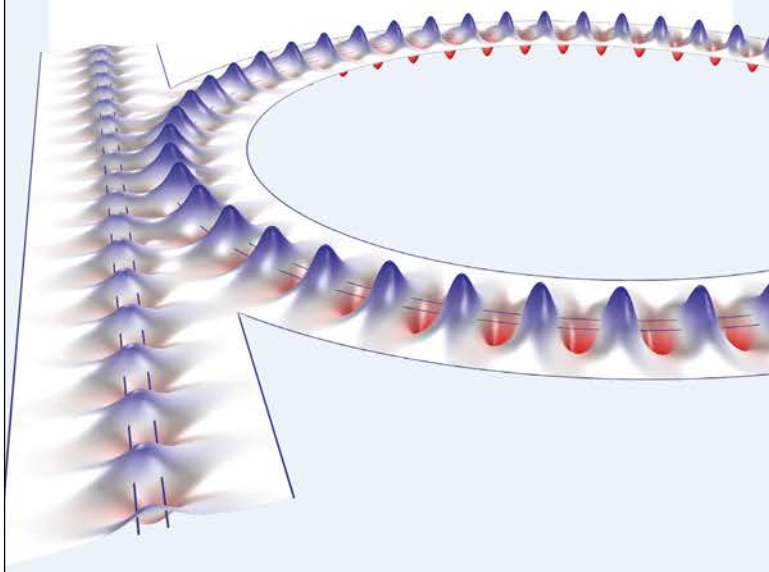


ÉTUDE DE CAS

Tout a commencé avec deux seaux d'eau...

En 1870, un scientifique du nom de John Tyndall a essayé de contrôler la lumière en utilisant deux seaux d'eau, illustrant la réflexion interne totale à un public fasciné. Aujourd'hui, les chercheurs disposent d'outils plus avancés. Lorsqu'ils fabriquent et analysent des prototypes de guides d'ondes optiques, les ingénieurs actuels utilisent des logiciels de simulation numérique pour accélérer le processus de conception.

EN SAVOIR PLUS comsol.blog/silicon-photonics



COMSOL

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des composants et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche.