

BULLETIN N° 260
ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES

INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES



Lundi 03 octobre 2022 (en format mixte présence-distance) :

15h00 :

Conférence :

« *La Science de la Lumière extrême et la Société* »

Par **Gérard MOUROU**

Professeur Membre du Haut collège École Polytechnique

Membre de l'US National Academy of Engineering

Membre Étranger de l'Académie des Sciences Chinoise

Membre Étranger de l'Académie des Sciences Russe

Prix Nobel de Physique 2018

Notre Prochaine séance aura lieu le lundi 14 novembre 2022 de 15h00 à 17h00

Salle Annexe Amphi Burg

Institut Curie, 13 rue Lhomond – 75005 Paris

Elle sera consacrée, à **15h précises** à :

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE DE L'AEIS

Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences

Siège Social : 5 rue Descartes 75005 Paris

Nouveau Site Web : <http://www.science-inter.com>

ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES

PRÉSIDENT : Pr Victor MASTRANGELO
VICE-PRÉSIDENTE : Dr Edith PERRIER
VICE PRÉSIDENT BELGIQUE(Liège): Pr Jean SCHMETS
VICE PRÉSIDENT ITALIE(Rome): Pr Ernesto DI MAURO
VICE PRÉSIDENT Grèce (Athènes): Anastassios METAXAS

SECRETAIRE GENERAL : Eric CHENIN
SECRETAIRE GÉNÉRALE adjointe : Irène HERPE-LITWIN
TRÉSORIÈRE GÉNÉRALE : Françoise DUTHEIL

MEMBRES CONSULTATIFS DU CA :
 Gilbert BELAUBRE
 Michel GONDRAN

PRÉSIDENT FONDATEUR : Dr. Lucien LÉVY (†)
PRÉSIDENT D'HONNEUR : Gilbert BELAUBRE

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIÈRE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUJJI
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNIQUES : Pr Ernesto DI MAURO

CONSEILLERS SPÉCIAUX :
ÉDITION : Pr Robert FRANCK
RELATIONS EUROPÉENNES : Pr Jean SCHMETS
RELATIONS avec AX : Gilbert BELAUBRE
RELATIONS VILLE DE PARIS et IDF : Michel GONDRAN et Claude MAURY
MOYENS MULTIMÉDIA et UNIVERSITÉS : Victor MASTRANGELO et Éric CHENIN
RECRUTEMENTS : Pr. Sylvie DERENNE, Anne BURBAN, Pr Jean-Pierre FRANÇOISE, Pr Christian GORINI, Pr Jacques PRINTZ, Jean BERBINAU
SYNTHÈSES SCIENTIFIQUES : Jean-Pierre TREUIL, Marie Françoise PASSINI
MECENAT : Pr Jean Félix DURASTANTI et Jean BERBINAU
GRANDS ORGANISMES DE RECHERCHE NATIONAUX ET INTERNATIONAUX : Pr Michel SPIRO
THÈMES ET PROGRAMMES DE COLLOQUES : Pr Jean SCHMETS

SECTION DE NANCY :
PRÉSIDENT : Pr Pierre NABET
SECTION DE REIMS :
PRÉSIDENTE : Dr Johanna HENRION-LATCHE

Octobre 2022

N°260

TABLE DES MATIERES

p. 03 Séance du 03 octobre 2022 : conférence de Gérard MOUROU

p. 08 Documents

Prochaine séance : lundi 14 novembre 2022 de 15h00 à 17h00

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE DE L'AEIS

Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences
 Siège Social : 5 rue Descartes 75005 Paris
 Nouveau Site Web : <http://www.science-inter.com>

ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES

Séance du Lundi 03 octobre 2022 mixte présence-distance

La séance est ouverte à 15h, sous la Présidence de Victor MASTRANGELO

- **Étaient présents physiquement nos Collègues membres titulaires** de Paris : Gilbert BELAUBRE, Jean BERBINAU, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Françoise DUTHEIL, Irène HERPE -LITWIN, Édith PERRIER, Jean SCHMETS, Jean-Pierre TREUIL
- **Étaient présents physiquement nos Collègues membres correspondants** : Benoît PRIEUR et Jacky ROUSSELLE
- **Était également présent** notre Collègue de Reims Michel HERBIN
- **Étaient connectés à distance nos Collègues** : Jean-Louis BOBIN, François BOUCHET, Anne BURBAN, Ernesto DI MAURO, Jacques FLEURET, Abdel KENOUEFI, Denise PUMAIN,.
- **Étaient excusés physiquement** nos Collègue Eric CHENIN pour raison de santé et notre Collègue Jacques PRINTZ pour éloignement

I. Conférence de Gérard MOUROU: « *La Science de la Lumière extrême et la Société* »

1. Présentation du Conférencier par notre Président Victor MASTRANGELO



Gérard Albert Mourou

Date naissance : 22.06.1944

NATIONALITÉ : U.S. et Française (Double nationalité)

- Directeur IZEST, International Center Zetta-Exawatt Science and Technology (Centre international Zetta-Exawatt Science et technologie) de l'Ecole Polytechnique

- Professeur et membre du Haut Collège de l'Ecole polytechnique
- Professeur Émérite à l'Université du Michigan
- Professeur de Physique à l'Université de Nijni-Novgorod Russie

FORMATION

- Licence de Physique, Université de Grenoble, France, 1967
- Thèse de 3eme cycle., Paris VI, France, 1970
- Thèse d'Etat Physique, Université of Paris VI France, 1973

PARCOURS PROFESSIONNEL

- Membre Etranger de l'Académie des Sciences de Chine
- Membre de l'US National Academy of Engineering (Académie nationale des technologies des États-Unis)
- Membre Etranger de l'Académie des Sciences de Russie
- Membre Etranger de l'Académie des Sciences d'Autriche
- Membre Etranger de l'Académie de Sciences et Lettres Lombarde, Italie
- Membre Etranger de l'Académie des Sciences de Lituanie
- Professeur et Membre du Haut Collège de l'Ecole polytechnique 2010
- Professeur de l'Ecole polytechnique France 2005-2010
- Directeur du Laboratoire d'Optique Appliquée ENSTA/Ecole Polytechnique (France) 2005-2009
- Directeur du Centre d'Optique Ultrarapide, de la faculté d'Ingénierie de l'Université du Michigan à Ann Arbor, 1991-2004 qui est un centre de la National Science Foundation Science and Technology
- Professeur Émérite Faculté d'ingénierie , de l'Université d'Ann Arbor Michigan
- Professeur, Institut d'Optique, Université de Rochester Etat de New York Mars 1987 - 1989.

PRINCIPALES DISTINCTIONS ET PRIX

- 2020 Officier dans l'ordre de la Légion d'Honneur
- **2018 Lauréat du Prix Nobel de Physique partagé avec son ancienne étudiante Donna Strickland pour ses travaux en Optique ultra-rapide sur l'Amplification d'impulsions laser par dérive de fréquence**
- Lauréat du Prix Arthur L. Schawlow 2018 en Science du LaseLauréat du Prix d'Innovation 2016 Berthold Leibinger
- Lauréat du Prix F. Ives/J. Quinn 2016 de l'OSA (Optical Society of America)
- Chevalier de la Légion d'Honneur République Française juillet 2012
- Nomination à la Chaire d'Excellence J. Beaulieu 2012 de l'Institut National de Recherche Scientifique du Québec
- Nomination à la Chaire Einstein 2010 de l'Académie des Sciences de Chine
- Lauréat 2010 de l'Open Grant Competition de la Fédération de RussiLauréat 2009 du prix Charles H. Townes de l' Optical Society of America
- Lauréat du Grand Prix Carnot 2007 de l'Académie des ScienceLauréat de la Médaille Lamb 2005 de Physique électronique quantique

- Lauréat 2004 de la Chaire d'Excellence du Ministère français de la Recherche
- Docteur Honoris Causa 2012 de l'Université de Bucarest
- Docteur Honoris Causa 2005 de l'Université de Laval
- Docteur Honoris Causa 1998 de l'Université du Québec

PRINCIPALES PUBLICATIONS;

Publications environ 400, H index 99 (Google Scholar), Citations 53797

- 1/ G. Mourou, S. Mironov, E. Khazanov and A. Sergeev, Single cycle thin film compressor opening the door to Zeptosecond-Exawatt Physics , Eur. Phys. J. Special Topics, 223, 1181(2014)
- 2/ N. Naumova, I. Sokolov, J. Nees, A. Maksimchuk, V. Yanovsky, and G. Mourou, Attosecond Electron Bunches, Phys. Rev. Lett. 93, 195003 (2004). 4
- 3/ G. Mourou, T. Tajima and S. Bulanov, Optics in the Relativistic Regime, Review of Modern Physics 78. Jan-Mar - 2006.
- 4/ T. Juhasz, F. H. Loesel, R. M. Kurtz, C. Horvath, J. F. Bille, G. Mourou, μm refractive surgery with femtosecond lasers, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronic on Lasers in Medicine and Biology, 1999..
- 5/ A. Braun, G. Korn, X. Liu, D. Du, J. Squier, and G. Mourou, "Self-Channeling of High-Peak-Power Femtosecond Laser Pulses in Air," Opt. Lett. 20, 73-75 (January 1, 1995).
- 6/ M. D. Perry and G. Mourou, μm Terawatt to Petawatt Subpicosecond Lasers, Science 264, 917-924 (May 13, 1994).1234.
- 7/ D. Strickland and G. Mourou, "Compression of Amplified Chirped Optical Pulses," Opt. Commun. 56, 219-221 (December 1985).

2. Brève présentation du Conférencier Gérard MOUROU, prix Nobel de Physique 2018 par notre Collègue Gilles COHEN-TANNOUJJI

3. Résumés de la conférence

Gérard MOUROU

Professeur Membre du Haut collège École Polytechnique
 Membre de l'US National Academy of Engineering
 Membre Étranger de l'Académie des Sciences Chinoise
 Membre Étranger de l'Académie des Sciences Russe
Prix Nobel de Physique 2018

Résumés

La Science de la Lumière extrême et la Société

Les pulsions Laser ultra intenses (Ultra Intense Laser Pulses) sont générées par la technique dite « **d'Amplification par dérive de fréquence** » (**Chirped Pulse Amplification**) CPA, en concomitance avec le développement des matériaux Laser de fluence élevée ont ouvert un tout nouveau domaine de l'optique.

Les intensités du champ électromagnétique produites par ces techniques au-delà de 1018 W/cm² mènent à un mouvement relativiste de l'électron. La méthode du CPA est réexaminée et l'essor futur de la technique Laser en vue d'atteindre la puissance du zettawatt fait l'objet d'une discussion.

Les Applications des champs optiques de force relativiste sont étudiées. En contraste avec le régime non relativiste, les champs sont capables de déplacer la matière plus efficacement, y compris le mouvement en vue de la modulation non-linéaire de la propagation du laser et de la génération harmonique multiple et du couplage fort avec la matière et les autres champs tels que les radiations de fréquence élevée.

Nombre d'applications sont examinées, la cible étant la fission restreinte par une énergie Laser à impulsion courte et les sources de particules énergétiques, électrons, protons, neutrons, etc... Le couplage du champ Laser intense avec la matière a aussi des **implications pour une énergie nucléaire abondante et propre, l'étude des énergies très élevées en astrophysique, telle que l'énergie ultra-élevée des rayons cosmiques avec des énergies supérieures à 1020 eV.** Les champs Laser peuvent être suffisamment intenses pour produire au laboratoire des effets relativistes généraux via le Principe d'Équivalence. **Qui plus est, pour des champs voisins de la valeur de Schwinger, des effets non-linéaires dans le vide sont attendus.**

Extreme Light Science and Society

Ultra intense laser pulses generated by the technique of chirped pulse amplification CPA along with the development of high-fluence laser materials has opened up an entirely new field of optics.

The electromagnetic field intensities produced by these techniques, in excess of 10^{18} W/cm², lead to relativistic electron motion. The CPA method is reviewed, and the future growth of laser technique is discussed to reach zettawatt power.

Applications of relativistic-strength optical fields are surveyed. In contrast to the nonrelativistic regime, the fields are capable of moving matter more effectively, including motion in the direction of laser propagation nonlinear modulation and multiple harmonic generation, and strong coupling to matter and other fields, such as high-frequency radiation".

A number of applications are reviewed, confined fission target by short-pulsed laser energy and potential sources of energetic particles, electrons, protons, neutron, etc... The coupling of an intense laser field to matter also has implications for abundant and clean nuclear energy, the study of the highest energies in astrophysics, such as ultrahigh-energy cosmic rays, with energies in excess of 1020 eV. The laser fields can be intense enough to produce general relativistic effects via the equivalence principle" to be produced in the laboratory. Furthermore, for fields close to the Schwinger value, nonlinear effects in vacuum are expected.

4. Échanges avec l'auditoire :

Pour donner suite à l'exposé, de nombreux collègues ont posé des questions dont :

- 1) Jacques FLEURET demande quelle est la limite théorique des augmentations d'intensité
- 2) Gilles COHEN-TANNOUDJI pose des questions relatives à la résolution des problèmes de stockage des déchets nucléaires grâce au CPA
- 3) Jacky ROUSSELLE pose des questions relatives à la production de neutrons grâce au CPA
- 4) Jean BERBINAU pose des questions relatives aux applications nucléaires
- 5) Victor MASTRANGELO pose des questions relatives à la protonthérapie

L'enregistrement intégral de la conférence et des échanges qui ont suivi sera disponible très prochainement sur le site de l'AEIS (<http://www.science-inter.com>) dans la rubrique « Comptes-rendus conférences mensuelles ».

Notre Président nous rappelle par ailleurs l'immense joie et la grande satisfaction ressentie par les membres de l'AEIS à l'annonce de l'obtention du Prix Nobel de Physique par le Pr Alain ASPECT qui a participé à notre Colloque de 2016 « Ondes, Matière et Univers » et qui est un des principaux auteurs de l'ouvrage dédié à ce colloque.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement M. Yann TRAN et Mme Annabelle POIRIER de l'Institut Curie pour la qualité de leur accueil.

Documents

Pour illustrer la conférence de Gérard MOUROU , nous vous proposons les articles associés suivants, librement téléchargeables et *disponibles sur le site de l'AEIS* :

p.09 : Un article de Gérard MOUROU publié dans LA RECHERCHE n°552 octobre 2019

LA RECHERCHE N°552

Octobre 2019

Gérard Mourou "Bombarder les déchets radioactifs, un projet qui me tient à coeur "

Propos recueillis par Anne Lefèvre-Balleydier dans [mensuel 552](#)
daté - 1991 mots

Prix Nobel de physique 2018 avec la Canadienne Donna Strickland, Gérard Mourou est l'inventeur d'une technique laser qui a fait florès : l'amplification par dérive de fréquence. Les lasers de puissance l'utilisent aujourd'hui pour des applications qui vont de la chirurgie oculaire à l'accélération de particules. Rencontre.

Les physiciens travaillant avec des lasers pulsés ont longtemps buté sur un obstacle de taille : les effets non linéaires détérioraient le matériel optique et rendaient impossible la montée en puissance. Gérard Mourou a trouvé une solution à ce problème au début des années 1980, sa mise en oeuvre constituant une partie du travail de doctorat de son étudiante, la Canadienne Donna Strickland. Leur procédé, l'amplification à dérive de fréquence (en anglais, Chirped Pulse Amplification ou CPA) leur a valu l'an dernier le prix Nobel de physique. Les lasers aux impulsions ultrabrèves atteignent désormais des puissances phénoménales. De multiples utilisations, tant en recherche fondamentale qu'appliquée, ont été développées depuis. Et c'est loin d'être terminé : après la femtoseconde et le pétawatt, les chercheurs visent l'attoseconde (10⁻¹⁸ seconde) et l'exawatt (10¹⁸ watts), voire plus, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles applications et notamment au rêve de Gérard Mourou : utiliser les lasers pour nous débarrasser des déchets nucléaires les plus dangereux.

La Recherche Vous vous êtes intéressé aux lasers dès leurs débuts. Pour quelles raisons ?

Gérard Mourou La réponse tient en partie dans votre question : parce que c'était les tout débuts. Après ma maîtrise de physique à l'université de Grenoble, en 1967, je suis parti à Paris pour mon diplôme d'études approfondies, avant ma thèse de doctorat. Le laser n'avait été inventé que sept ans auparavant. Et j'ai été admis au sein de l'équipe lasers que Jean Vignal venait tout juste de mettre en place à l'École polytechnique. C'est là que j'ai vu un laser pour la première fois. A priori, il s'agissait d'un banal objet de laboratoire. Mais j'ai compris immédiatement que ce faisceau lumineux recelait un potentiel extraordinaire d'applications. Et puis, dans la recherche scientifique, il vaut mieux démarrer sur des sujets qui n'en sont qu'à leurs balbutiements...

Sur quels sujets portaient vos premières recherches ?

J'ai travaillé dès le départ sur le laser à impulsions brèves. À ce propos, il faut savoir que le laser est une source de lumière cohérente, c'est-à-dire un faisceau de lumière dont les trains d'ondes sont en phase. Ce peut être sur de très longues distances, et on parle dans ce cas de lasers continus, ou bien seulement sur quelques oscillations, et il s'agit alors de lasers pulsés. Bien sûr, quand j'ai débuté mes recherches, leurs impulsions étaient moins brèves qu'aujourd'hui : on a commencé par une centaine de nanosecondes (un dixième de milliardième de seconde), et lorsque, en 1977, j'ai rejoint le laboratoire pour l'énergie laser de l'université de Rochester, dans l'État de New York, on parvenait à descendre jusqu'à la picoseconde (10⁻¹² seconde) !

Sur quoi vous êtes-vous penché alors ?

Je m'intéressais à la caractérisation des signaux électriques, car l'oscilloscope utilisé à cette fin était limité par une bande passante de l'ordre du gigahertz ; avec un laser dont les impulsions étaient de l'ordre de la picoseconde, on pouvait élargir cette bande à la centaine de gigahertz. Par ailleurs, dans mon laboratoire, la principale thématique de recherche était la fusion thermonucléaire par laser, c'est-à-dire l'utilisation d'un laser assez intense pour chauffer et comprimer deux noyaux atomiques en un. On sait que plus les impulsions d'un laser sont brèves, moins il faut d'énergie pour gagner en puissance et donc en intensité. Mais plutôt que de raccourcir la durée d'impulsion, les scientifiques optaient pour un accroissement de l'énergie lumineuse. Car en dessous de la nanoseconde, ils butaient sur des effets non linéaires (*) qui détériorent les composants optiques du laser. Or j'étais confronté à ces mêmes effets dans mes recherches.

Est-ce de ce rapprochement qu'est née l'idée vous ayant valu le prix Nobel ?

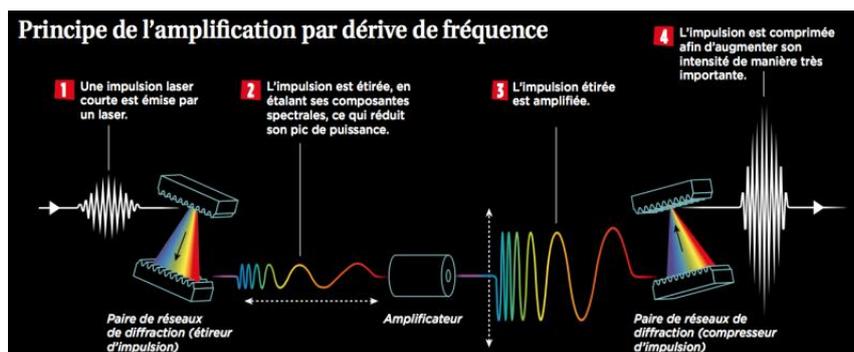
L'idée a germé à la suite de discussions entre mon groupe sur les lasers à impulsions brèves et celui sur les lasers intenses pour la fusion. À l'époque, pour augmenter l'énergie d'un faisceau laser, on le faisait passer par une série d'amplificateurs. Et pour limiter les dommages sur l'optique (milieux lasers en verre, miroirs, lentilles...), il fallait augmenter la taille des amplificateurs, d'où des installations gigantesques. J'ai alors transposé dans le domaine temporel ce qui était déjà fait dans le domaine spatial. Avec l'idée d'étaler les longueurs d'onde d'une impulsion brève, donc de créer une dérive de fréquence, à l'image du gazouillis d'oiseau, d'où le nom de Chirped Pulse Amplification (CPA) [*en anglais, to chirp signifie gazouiller, NDLR*]. Comme la largeur spectrale d'une impulsion et sa durée sont liées, l'impulsion pouvait ainsi devenir plus longue, et donc être amplifiée. Et dans une troisième étape, il suffisait de la comprimer pour retrouver sa durée initiale (voir ci-dessous).

Et en pratique, comment avez-vous procédé ?

Nous étions très mal outillés. La seule méthode que l'on connaissait pour disperser les longueurs d'onde consistait à faire passer le faisceau laser à travers de la fibre optique. J'avais calculé qu'il nous fallait 2 km de fibre pour passer une impulsion d'une picoseconde à une centaine de picosecondes. À l'époque, la fibre optique coûtait très cher. Mais j'ai convaincu la société Corning, qui avait mis au point les premières fibres optiques, de nous fournir les 2 km nécessaires à l'expérience. Quand mon étudiante, Donna Strickland, a débobiné la fibre pour l'utiliser, elle s'est cassée pratiquement au milieu, à 1,4 km. Nous avons dû faire avec cette longueur. Si bien qu'en 1985, l'impulsion obtenue au sortir du dispositif était moins belle qu'attendue, [mais nous avons montré que le principe fonctionnait](#).

Par quels moyens a-t-on pu progresser ?

D'abord en remplaçant la fibre optique par un système de réseaux de diffraction. D'un étirement dans le temps d'un facteur 10 à 100, on est passé à un facteur 1 000. On a alors montré qu'on pouvait atteindre des puissances de l'ordre du térawatt (10¹² watts, l'équivalent de la puissance de 1 000 centrales nucléaires), sur un espace aussi réduit qu'une table. Du point de vue technologique, c'était un bond en avant colossal ! Mais j'ai compris qu'en utilisant la CPA sur les gros lasers dédiés à la fusion nucléaire, on pouvait encore progresser d'un facteur 1 000 et viser le pétawatt (10¹⁵ watts). Or, à Rochester, en 1987, on m'a répondu que les impulsions brèves n'avaient pas d'avenir. Heureusement, le président de l'université du Michigan m'a invité à poursuivre mes recherches dans son institution. J'y suis donc parti avec quinze de mes étudiants. Entre-temps, Jean Oувry, qui dirigeait le centre du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) de Limeil-Brévannes, a visité le laboratoire de Rochester et, tout comme Robert Dautray, haut-commissaire au CEA, il ne m'a pas pris pour un fou. Il m'a ensuite informé qu'un de leurs gros lasers, le P102 [pour 102 picosecondes, NDLR], allait être démantelé, et que je pouvais en disposer. Avec mon équipe, nous avons fait des allers-retours entre Ann Arbor, dans le Michigan, et Limeil-Brévannes et, en utilisant la CPA sur ce laser, nous avons grimpé doucement vers le pétawatt au début des années 1990, en allant jusqu'à 20, puis 50, puis 100 térawatts...



Crédit Johan Jarnestad/The

Royal Swedish Academy of Science

Les premières applications médicales datent-elles de cette époque ?

Oui, en partie à la suite d'un accident. En 1992, dans le Center for Ultrafast Optical Science que je dirigeais alors à Ann Arbor, l'un de mes étudiants est venu me voir, catastrophé, parce qu'il avait reçu une fraction de faisceau laser dans l'oeil. Il avait peur des conséquences, de la fermeture du laboratoire. Je l'ai emmené à l'hôpital. Le jeune interne qui l'a examiné, interloqué, lui a demandé quel était le laser à l'origine de l'accident. Parce que, si l'oeil était endommagé, la blessure était « parfaite » : circulaire, avec des bords très nets, rien à voir avec les lésions habituelles en forme de cratère des lasers. Et quelques semaines plus tard, quand nous avons exposé les faits devant la commission réunie par le président de l'université, il n'a pas été décidé de fermer le laboratoire... au contraire, on nous a alloué 500 000 dollars pour faire des recherches avec ce laser ! C'était inespéré. Aujourd'hui, 2 millions d'interventions sont réalisées chaque année pour corriger la myopie avec l'aide d'un laser femtoseconde.

Le potentiel du CPA s'est aussi révélé dans le domaine de la physique des particules...

En effet, et c'est une application très importante. En 1979, le physicien japonais Toshiki Tajima, alors en postdoctorat à l'université de Californie à Los Angeles, avait eu l'idée d'accélérer les électrons en les faisant surfer dans le sillage plasma d'une impulsion laser, c'est-à-dire en

exploitant l'intense champ électrique - ou champ de sillage - [créé par la séparation des charges d'un plasma sous l'effet d'un laser](#). Toshiaki Tajima était limité par la durée et l'intensité des lasers pulsés de l'époque, insuffisantes pour créer ce champ de sillage. Le CPA a changé la donne et nous avons commencé à collaborer dans les années 1990. Par rapport aux technologies classiques, l'accélération par laser augmente d'un facteur 1 000 le gradient d'accélération, ce qui permet de diminuer à la fois le coût et la taille des installations. Si dans le grand accélérateur du Cern, l'anneau fait 27 km de circonférence, c'est parce qu'il faut aux particules accélérées une centaine de mètres pour gagner une énergie d'un gigaélectronvolt (GeV) : pour les porter jusqu'à une énergie de l'ordre du téraélectronvolt (TeV), 1 000 fois plus, et pour mener des expériences sur la matière et les origines de l'Univers, elles doivent donc parcourir des distances considérables. Or, avec l'accélération laser-plasma, des électrons peuvent maintenant gagner un GeV en quelques centimètres ! Les accélérateurs du futur utiliseront cette propriété.

Peut-on accélérer d'autres particules que des électrons ?

À des niveaux d'intensité laser très élevés, on peut en effet accélérer des particules 2 000 fois plus massives que les électrons, c'est-à-dire des protons. Avec des retombées dans le domaine médical, à travers la protonthérapie : il s'agit de détruire une tumeur cancéreuse avec un faisceau de protons qui a l'avantage d'être ultraprécis et donc de ne pas brûler les tissus alentours. La technique existe déjà avec des accélérateurs classiques, mais qui sont lourds et coûteux, donc peu répandus. L'accélération laser devrait les rendre plus compacts et accessibles.

Vous semblez toujours soucieux des retombées de vos recherches. Quelles sont celles qui vous tiennent le plus à coeur ?

Toute une partie de mon activité a consisté à développer des lasers qui puissent être exploités dans le cadre d'applications scientifiques et sociétales. Notamment à travers le projet du consortium européen ICAN (International Coherent Amplification Network), piloté par mon équipe à l'École polytechnique et visant à améliorer le rendement des lasers ultra-intenses. Pour le moment, il faut un temps de récupération d'environ une seconde entre chaque tir laser. Or il faudrait multiplier cette cadence par 1 000, tout en augmentant le rapport entre l'énergie délivrée et celle utilisée, pour accélérer des particules avec un rendement suffisant. Un résultat que nous espérons atteindre en transformant l'architecture des lasers, grâce à des fibres optiques. En plus de rendre moins encombrantes et coûteuses les installations de protonthérapie, cela permettra de nouvelles applications et d'avancer dans un autre projet qui me tient à coeur : utiliser les jets de protons pour produire des neutrons de très haute énergie avec lesquels on pourrait bombarder des déchets radioactifs particulièrement dangereux du fait de leur durée de vie.

Vous voulez faire de la transmutation nucléaire ?

C'est bien cela, comme ce que cherchaient les alchimistes du Moyen Âge, mais avec des lasers ! L'idée consiste à détruire les noyaux radioactifs par des réactions de fission dont les produits ont une durée de vie infiniment plus courte, et elle est déjà expérimentée avec des accélérateurs conventionnels. En les remplaçant par des accélérateurs lasers, on pourrait réduire énormément les coûts et finir par résoudre ce problème si fondamental de la gestion des déchets nucléaires. Je suis optimiste. Hors de mon équipe à Polytechnique, plusieurs groupes sont intéressés et, grâce aux infrastructures d'ELI (lire ci-dessus), nous disposons en Europe des plus puissants lasers au monde permettant d'étudier cette transmutation. Et puis, le prix Nobel m'a ouvert des portes. J'ai maintenant une audience plus grande. Des gens qui peuvent m'aider. Je peux consacrer tout mon temps et toute mon énergie à ce projet.

Physicien, professeur à l'École polytechnique, Gérard Mourou a initié le projet européen Extreme Light Infrastructure (ELI).

(*) Un effet non linéaire désigne un effet qui ne se produit pas de manière directement proportionnelle à l'action, ce qui déforme les signaux.

Crédit photo Alexis Cheziere/CNRS photothèque

SES DATES

1944 Il naît à Albertville.

1973 Thèse d'État de physique de l'université Pierre-et-Marie-Curie.

1977 Il rejoint l'université de Rochester.

1985 Il met au point, avec Donna Strickland, l'amplification par dérive de fréquence (CPA).

1988 Il arrive à l'université du Michigan (Ann Arbor).

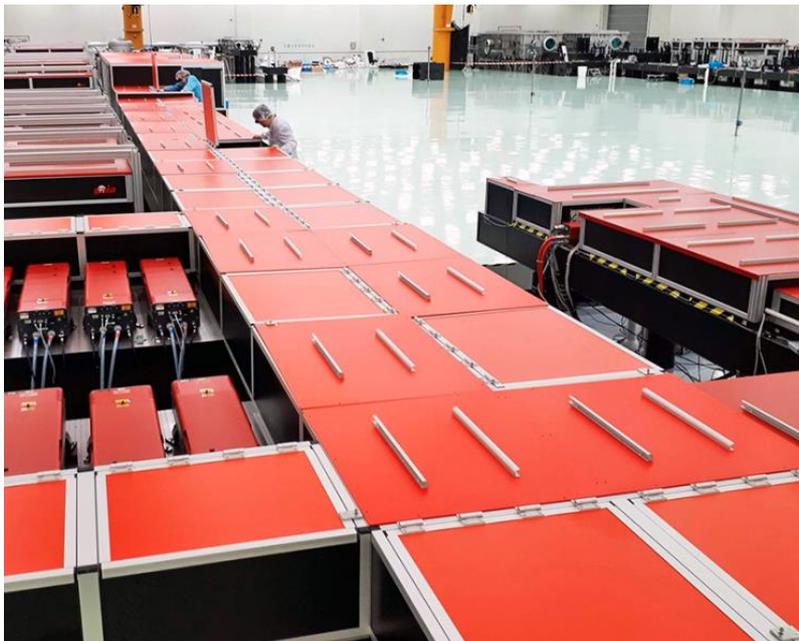
1995 La technique CPA est utilisée en chirurgie oculaire.

2005 Il rentre en France, à l'École polytechnique.

2010 Il participe à la mise en place de structures européennes sur les lasers intenses.

2018 Il reçoit le prix Nobel de physique.

LES LASERS LES PLUS PUISSANTS AU MONDE



L'infrastructure ELI-NP installée en Roumanie vise les 20 pétawatts.

Alors qu'il vient de revenir en France, en 2005, Gérard Mourou répond tour à tour à deux appels à projets concernant des infrastructures de recherche laser, l'un français, l'autre européen. Le premier, baptisé Apollon, est installé à Saclay. Placé sous la responsabilité du Laboratoire d'utilisation des lasers intenses (Luli, de l'UMR École polytechnique, CNRS, CEA, Sorbonne université), il vise une puissance de 10 pétawatts et a déjà atteint quelques pétawatts. Il est dédié à l'exploration de nouveaux domaines de la physique des hautes énergies.

Le deuxième, qui a pour nom ELI (Extreme Light Infrastructure), comprend trois infrastructures européennes. L'une doit voir le jour en Hongrie et a pour objectif la génération d'impulsions attosecondes, qui permettront notamment de s'attaquer au vieux rêve de claquage du vide : avec une intensité de crête approchant du 1030 watts par cm², il s'agit de casser les paires virtuelles de particules-antiparticules. La seconde, qui sera construite en République tchèque, sera consacrée à la production de rayonnements. Enfin la troisième, située en Roumanie, vise les 20 pétawatts - une puissance de 10 pétawatts a déjà été atteinte en mars 2019. Elle sera vouée à la physique nucléaire, et notamment au traitement des déchets radioactifs.

Crédit photo @elinpmagurelle

POUR EN SAVOIR PLUS

tinyurl.com/conférence-Apollon Conférence du physicien Philippe Zeitoun sur le laser Apollon.