reflets de la PHYSIQUE

n°9
mai 2008

Bulletin de la Société Française de Physique

- La SFP interviewe Albert Fert
- Découverte de la première exoplanète tellurique
  La chiralité des protéines fibreuses
  La nucléation des bulles de champagne
- La Main à la Pâte, oui mais avec la Tête !
  L'évaluation de la recherche au Royaume-Uni

n°9 - mai 2008 - 10 € - 5 numéros par an

www.sfpnet.fr

Notre collègue Albert Fert a souvent eu l'occasion de s'exprimer dans les médias depuis l'annonce de son prix Nobel en octobre 2007. La SFP a choisi de publier ici une interview qui s'est tenue le 2 avril 2008, en présence de membres du bureau de la société (Michèle Leduc, Charles de Novion, Roger Maynard et Vincent Mosser). Rappelons qu'Albert Fert a été interrogé par le journal *Le Monde* (le 25 octobre 2007), y a rédigé avec Édouard Brézin une *Tribune libre* (le 29 décembre 2007), et qu'il a fait état dans ces deux articles de son souci concernant l'avenir du CNRS et du rôle de cet organisme dans le pilotage de la recherche publique en France. Depuis, la situation a beaucoup évolué et nous avons souhaité faire préciser à Albert Fert ses analyses sur les réformes en gestation dans l'enseignement supérieur. De plus, Vincent Mosser (qui est ingénieur dans une entreprise, ITRON) lui a posé des questions sur son expérience de chercheur travaillant dans une unité mixte avec un grand groupe industriel et sur sa vision des relations entre le monde académique et l'industrie. Les messages d'Albert Fert s'adressent plus particulièrement aux jeunes chercheurs dans les laboratoires et dans les écoles d'ingénieurs.

M. Leduc

Michèle Leduc

Albert Fert, prix Nobel de physique 2007, répond aux questions de la SFP

© Ekstromer/SCANPIX Suède/SIPA

Albert Fert recevant son prix Nobel du roi de Suède Carl XVI Gustaf, au Concert Hall de Stockholm, le 10 décembre 2007.

La SFP : Le Président de la République est venu le 28 février à Orsay faire un discours en ton honneur. Cela a été l'occasion, pour lui, d'exposer sa politique pour la recherche et l'enseignement supérieur. Que penses-tu des grands traits de son discours ?

Albert Fert : Passons sur l'aspect provocateur du début du discours. Pensons seulement aux moyens de réussir la mutation du système de recherche, pour l'adapter à la nouvelle situation résultant du Pacte pour la Recherche de 2006 et de la loi d'autonomie des universités de 2007. Je constate que le CNRS prend la nouvelle situation de façon positive et prépare rapidement sa mutation : réorganisation en instituts, préparation des articulations avec les universités pour la direction des unités mixtes et avec l'agence d'évaluation, réflexion sur la création de postes mixtes CNRS/Université (« chaires CNRS »).

Le CNRS gardant le pilotage de la recherche des unités mixtes au niveau national (discours de Nicolas Sarkozy), l'essentiel est que l'organisme contrôle vraiment les leviers de ce pilotage, c'est-à-dire une répartition équilibrée des crédits entre l'ANR et le CNRS, ainsi que des chercheurs en nombre suffisant (l'affectation d'un chercheur est souvent le moyen le plus efficace pour impulser la recherche d'un laboratoire dans une direction).

Pour ce qui est de l'organisation du CNRS en instituts, Catherine Bréchignac et, semble t-il, le Conseil scientifique du CNRS en sont d'accord sur le principe. Cette organisation simplifiera un certain nombre de problèmes, car il était toujours difficile

de trouver des règles de fonctionnement communes à des disciplines aussi diverses que sciences humaines et sociales, sciences de la vie et sciences dures. En ce qui concerne ces dernières, mathématiques, physique et chimie, le Ministère doit être conscient que cela ne fonctionne pas mal et que ce n'est pas la peine de chercher à trop changer les choses.
Il faudra toutefois trouver des outils pour favoriser la pluridisciplinarité, installer des mécanismes de croisements, des passerelles. Le CNRS a raison d'aller de l'avant. C'est ce que j'ai écrit récemment dans un article pour *Le Figaro Magazine* ; le journaliste a choisi un titre dont, finalement, je ne suis pas mécontent : « Accélérons la réforme du CNRS ». Je dis même à la fin de cet article : « Allons encore plus loin, envisageons un couplage progressif des écoles d'ingénieurs, les petites comme les grandes, aux universités et à leurs laboratoires de recherche. »

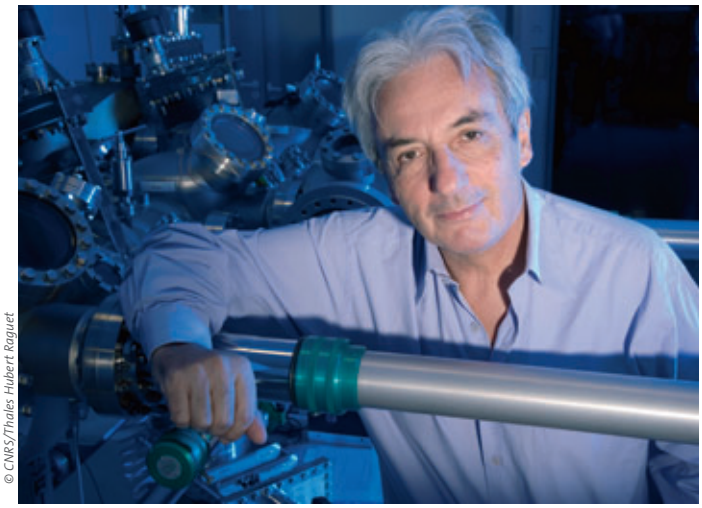
SFP : Tu as été professeur, maître de conférences, maître-assistant, assistant. En as-tu gardé un bon souvenir, as-tu eu plaisir à enseigner ?
AF : Oui. Sauf que, parfois, c'était un peu désespérant de consacrer son année à essayer de remonter le niveau d'étudiants de « sections de rattrapage » (sections pour étudiants qui n'avaient pas de bases de lycée suffisantes) et de s'apercevoir qu'en fin de compte on ne pouvait en sauver qu'un petit pourcentage.
Actuellement, la lourdeur des charges d'enseignement bloque l'épanouissement de nombreux talents. Les scientifiques de ma génération se sont formés à une époque plus favorable. Quand j'ai démarré, j'avais seulement 60-70 heures par an devant les étudiants, soit trois fois moins que les enseignants maintenant ! C'était tout à fait différent. Les charges ont gonflé dans les années 80.
Je suis pour plus de perméabilité entre les carrières à l'université et au CNRS. Il me semble qu'une partie au moins des chercheurs CNRS pourrait enseigner. D'autre part, il serait souhaitable qu'il y ait de nombreux postes d'accueil pour les enseignants-chercheurs, soit les « chaires CNRS » envisagées, qui devraient permettre aux jeunes recrutés de consacrer l'essentiel de leurs 4 ou 8 premières années à un projet de recherche avant de pouvoir bifurquer vers une carrière d'enseignant-chercheur, soit des postes d'accueil au CNRS, soit enfin des postes du type Institut Universitaire de France. La bifurcation de chercheur à enseignant-chercheur est le modèle courant en mathématiques. Je crois de toute façon que, pour que des chercheurs puissent bifurquer vers une carrière de professeur, il faut qu'ils commencent à enseigner relativement jeunes. Les postes de type chaire CNRS s'y prêtent car cela procure un certain entraînement à l'enseignement, pas trop lourd au départ, tout en laissant la plus grande partie du temps pour se consacrer à la recherche.

SFP : Que penses-tu de la sélection à l'entrée des universités ? Il n'y a qu'en France qu'on prend tous les étudiants. Peut-on avoir des universités d'élite pour la recherche et qui accueillent tous les bacheliers d'une région ?
AF : À Orsay, on consacre une énergie fantastique à former et orienter les étudiants de premier cycle. À une certaine époque, je m'occupais de recycler les étudiants qui n'avaient pas les bases nécessaires. Je me rappelle qu'au bout de six mois on ne pouvait en remettre que 10% dans une filière normale. C'est difficile de récupérer à toute vitesse ce qu'on n'a pas appris à 14-18 ans.
Avec l'autonomie, on devrait pouvoir avoir des universités de métiers différents. Je crois qu'il faut en arriver là et ne pas espérer avoir, par exemple, 80 universités qui aient de façon identique les moyens adéquats pour faire de la recherche de pointe dans des domaines de haute technologie. Il faut diversifier les fonctions. Aux États-Unis, certaines universités ne prennent des étudiants qu'au niveau *post graduate* et se consacrent à l'enseignement au niveau supérieur et à la recherche, alors que d'autres se limitent au niveau *undergraduat*e. Je crois que le gouvernement actuel a eu des idées de sélection, mais il a abandonné devant la réaction des étudiants.

SFP : Que pourrait-on faire pour augmenter l'attractivité des carrières scientifiques auprès des jeunes ? Augmenter les salaires de début de carrière ?
AF : Dans ma carrière, le niveau du salaire n'a pas eu un grand rôle. Mais cela semble jouer beaucoup pour les jeunes aujourd'hui. La nécessité d'augmenter les salaires des chercheurs est une idée partagée par beaucoup de responsables au gouvernement. On attire en France des scientifiques de divers pays, mais, bien sûr, pas des États-Unis, où les conditions sont meilleures : on fournit aux États-Unis plus de matière grise que l'inverse. Et il est difficile d'attirer de grosses pointures.

SFP : Qu'est-ce que tu préconises pour le rapprochement entre les grandes écoles et les universités ?
AF : On forme les élites du milieu industriel dans des écoles, grandes et moins grandes, dont certaines, éloignées du monde de la recherche, ont des enseignements « ringards ». Il en résulte un déficit global sur le plan de la formation scientifique de ces élites. À l'École polytechnique, il y a quelques enseignants prestigieux, chercheurs de grande valeur, mais il me semble qu'il n'y a pas vraiment de connexion très forte entre étudiants et laboratoires de l'École. Je crois que la situation idéale serait de mieux coupler les grandes écoles à la recherche universitaire, le genre de liaison qui existe aux USA entre instituts de technologie et universités. Il peut y avoir des associations entre écoles et universités à l'intérieur de PRES par exemple, mais je ne sais pas si ce lien sera vraiment efficace.

Le point de divergence apparaît avec la bifurcation entre classes préparatoires et premier cycle universitaire. Il y a deux filières différentes avec un déficit de passerelles et, en fin de compte, un fossé entre chercheurs universitaires et entreprises. Il faudrait surtout que les doctorats de l'université soient valorisés dans les entreprises et les administrations, pour mieux inciter les étudiants ingénieurs à préparer une thèse et attirer des chercheurs universitaires vers des carrières dans l'industrie.



© CNRS/Thales Hubert Raguet

SFP : Que penses-tu des interactions entre l'industrie et la recherche académique ? Comment a été créée l'unité mixte Thalès-CNRS ?

AF : La situation était favorable. Je connaissais bien des anciens doctorants d'Orsay recrutés à Thomson-CSF et, en particulier, Alain Friedrich, qui développait l'épitaxie par jet moléculaire dans son groupe à Corbeville. Mon équipe a établi avec lui une collaboration au milieu des années 80 et cette collaboration a porté des fruits, puisqu'elle a conduit à la découverte de la magnétorésistance géante et au démarrage de la « spintronique ». Ensuite, en 1995, quand il s'est avéré que la spintronique était un terrain fertile, qui se développait rapidement et qui aurait des applications, nous avons créé sur ce thème un laboratoire mixte CNRS-Thalès associé à l'université Paris-Sud. Puis nous avons été rejoints par l'équipe de Jean-Pierre Contour, qui travaillait sur les applications de la supraconductivité, en particulier pour la réalisation de systèmes de traitement de signaux hyperfréquence. Dans le domaine du stockage d'information, des projets finalisés avaient aussi démarré assez vite à Thomson-CSF, avec des projets de têtes de lecture, mais l'utilisateur final était Thomson Multimédia et la séparation entre Thomson-CSF et Thomson Multimédia a gelé ces projets. Actuellement, nous avons un certain nombre de brevets, en particulier dans le domaine des oscillateurs hyperfréquence basés sur le phénomène de transfert de *spin*.

SFP : Comment cela se passe-t-il au quotidien dans l'unité mixte ? Est-ce qu'il y a des contraintes sur les choix des sujets ?

AF : Il n'y a pas de contrainte forte. On suit des objectifs de recherche fondamentale, en étant conscients que c'est d'autant plus valorisant pour nous que c'est dans un domaine fertile en applications dans les métiers de Thalès. Dans notre laboratoire mixte, il y a des ingénieurs de Thalès dont le rôle est d'assurer la jonction avec les unités de l'entreprise, pour transférer et proposer des applications. Actuellement, sur des problèmes de modulations magnéto-optiques de lumière, nous sommes associés avec une unité de Thalès dans un contrat DGA et nous avons une boursière CIFRE, qui travaille sur ce projet commun.

SFP : Finalement, est-ce que l'unité mixte CNRS-Thalès est un modèle pour les relations entre le monde académique et l'industrie ? On se rend compte qu'en France elles manquent un peu de liant.

AF : : Je crois qu'il y a plusieurs modèles. L'UMR Thalès-CNRS est un laboratoire de physique fondamentale, orienté vers les applications dans le métier de l'entreprise, mais dont l'objectif n'est pas trop finalisé. Cependant, il y a des entreprises qui cherchent plutôt des collaborations sur des projets plus finalisés. Le CNRS est assez flexible à plusieurs types d'associations.

SFP : Ne regrettes-tu pas de ne pas avoir créé ta petite entreprise ?

AF : Ce n'est pas ma vocation. Mais, parmi les collègues qui sont passés par notre laboratoire, il y en a 3 ou 4 qui ont créé des entreprises.

SFP : Il y a aussi toute la catégorie des moyennes entreprises d'un millier de personnes, qui n'ont pas la possibilité de dégager du personnel pour travailler avec le monde académique. Que pourrait-on imaginer pour elles ?

AF : En général, dans les entreprises moyennes, il y a peu de docteurs et peu d'ingénieurs qui ont des relations universitaires. C'est un handicap par rapport aux industries américaines, où la proportion de docteurs familiers du monde universitaire est plus grande.

Le crédit impôt-recherche peut aider les PME. Ce sont des financements destinés à amplifier la recherche dans les entreprises, dans l'objectif d'arriver aux 3% du PIB. Je crois qu'il y a moyen d'utiliser ces sommes-là, non seulement pour soutenir les activités de recherche dans l'entreprise, mais aussi pour favoriser l'embauche définitive ou temporaire par les PME de chercheurs de la recherche publique sur des projets spécifiques.

SFP : Est-ce qu'on pourrait parler un peu de brevets ? Toi-même, dans ta carrière, tu as pris des brevets qui ont été valorisés. Mais il semble que tu n'as pas pris le brevet principal qui aurait pu te rendre multimillionnaire.

AF : Nous l'avons pris, ce brevet, par l'intermédiaire de Thomson-CSF, mais en retard sur notre concurrent. J'ai écrit un brouillon de brevet assez rapidement. Mais, pour des raisons diverses qui ne m'impliquent pas vraiment, les choses ont ensuite traîné.

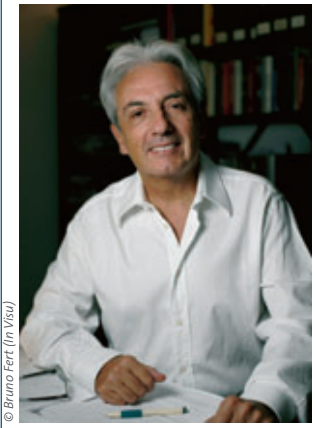
SFP : Veux-tu ajouter une conclusion ? Que pourrait-on dire aux jeunes, y compris ceux des écoles d'ingénieurs, qui ont peur de la physique parce que c'est difficile, que c'est ingrat ?

AF : J'ai l'impression que la science et la physique sont sur une pente très positive, qu'elles sont « boostées » par le développement des nanotechnologies. Cela donne beaucoup de pouvoir à notre imagination. Avant, on était plutôt zoologistes, on étudiait les propriétés des choses existantes. Maintenant, il y a un très grand nombre de portes qui s'ouvrent quand on exploite ces nouvelles technologies, qui sont des outils fantastiques pour concrétiser les idées du scientifique.

Je dirais aux jeunes, premièrement, que faire de la physique est un métier passionnant, parce que c'est un métier créatif. Deuxièmement, qu'il y a plus de possibilités qu'il n'y paraît. J'ai cru un temps que tout avait été pavé, qu'il n'y avait plus rien à découvrir ; mais on s'aperçoit aujourd'hui qu'il y a énormément d'espace pour faire du nouveau. Je voudrais leur dire enfin que faire de la physique c'est aussi un travail d'équipe, et que c'est merveilleusement enrichissant sur tous les plans.

SFP : Voilà un bon message pour les jeunes. Merci, Albert.

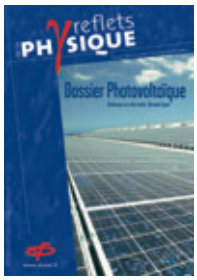
Biographie



© Bruno Fert (In Visu)

Albert Fert est né en 1938.
Ancien élève de l'École normale supérieure, il est directeur scientifique à l'unité mixte de physique CNRS/Thalès.
1970 : docteur es-sciences.
1976 : nommé professeur à l'université de Paris-Sud (Orsay).
1994 : Grand prix de physique Jean Ricard de la SFP.
2003 : médaille d'or du CNRS.
2004 : membre de l'Académie des sciences.
2007 : lauréat du Japan Prize et du prix de la Wolf Foundation.
2007 : lauréat (avec Peter Grünberg) du prix Nobel de physique pour la découverte de la magnétorésistance géante.

Le « dossier photovoltaïque » de *Reflets de la physique*



L'ensemble des articles sur le photovoltaïque parus en 2007 dans les numéros 5 et 6 de *Reflets de la physique* vient d'être réuni dans un fascicule de 36 pages.

Ce numéro spécial est disponible auprès de la SFP au prix de 10 € + frais de port (demande à adresser à secretariat@sfpnet.org)

Il est également téléchargeable sur www.sfpnet.fr, page « publications ».

Rappel

questionnaire sur *Reflets de la physique*

Voici maintenant un peu plus d'un an (8 numéros) que *Reflets de la physique* a remplacé le *Bulletin de la SFP*, avec un contenu et une forme complètement renouvelés.

Nous pensons que c'est le moment de faire le point avec l'ensemble de nos lecteurs.

Merci de bien vouloir répondre au questionnaire, qui se trouve page 4 du numéro 8 (mars 2008) de *Reflets*, ainsi que sur le site internet de la SFP (www.sfpnet.fr, page « publications »), et de nous le retourner, soit par réponse en ligne, soit par courrier postal à SFP/Reflets de la physique, 33 rue Croulebarbe, 75013 Paris.

Vos opinions, dont la synthèse sera publiée dans un prochain numéro de *Reflets de la physique*, nous permettront d'améliorer notre revue et sa diffusion.

Message adressé aux directeurs de Laboratoire et aux jeunes docteurs récemment intégrés dans la vie active

Nous recherchons des contacts avec de **jeunes docteurs en physique qui ont trouvé facilement un emploi après leur thèse, suite à :**

- Une formation adaptée au marché de l'emploi
- Une formation pluridisciplinaire
- La connaissance d'une autre langue que l'anglais
- Un contrat post-doctoral
- Une mobilité
- La création de leur propre entreprise ou *start-up*...

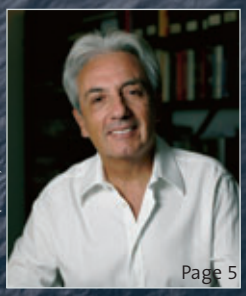
LEUR EXPÉRIENCE NOUS INTÉRESSE

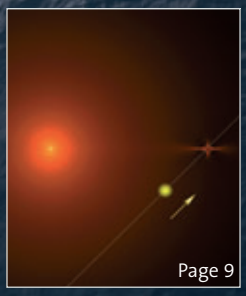
Le but est de leur proposer de publier dans *Reflets de la physique* un article relatant leur propre expérience, qui sera très utile aux jeunes doctorants comme aux directeurs de laboratoire.

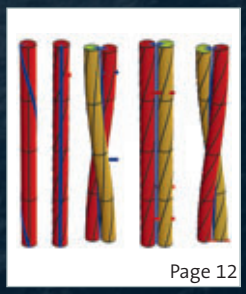
On sait bien qu'en France, on a des difficultés à obtenir le détail des activités d'un docteur après sa thèse. Or, cette connaissance est indispensable, non seulement aux jeunes doctorants se posant la question de l'après-thèse, mais aussi à leurs responsables.

Pour prendre contact, il suffit de vous adresser à :
henri.bartholin@orange.fr
et de fournir le téléphone ou l'adresse e-mail du chercheur concerné, en précisant le sujet : « Expérience docteur ».

Sommaire


© Bruno Fert (In Visu)
Page 5


Page 9


Page 12

Page 15

© ESO/H. Zodet.
Impression d'artiste de la planète extrasolaire glacée OGLE-2005-BLG-390, cousine cinq fois plus massive de la Terre. Voir article, p. 5.

Interview : Albert Fert, prix Nobel de physique 2007, répond aux questions de la SFP 2

Avancées de la recherche 7

Découverte de la première planète extrasolaire tellurique 7
J.P. Beaulieu, A. Cassan

La chiralité des protéines fibreuses : une affaire d'élasticité 11
S. Neukirch, A. Goriely

La nucléation des bulles de champagne : une sorte de goutte-à-goutte inversé ? 14
G. Liger-Belair, A. Tufaile, P. Jeandet, J.C. Sartorelli

Science et société 17

La Main à la Pâte, oui mais avec la Tête ! 17
J.P. Perez

L'exercice d'évaluation de la recherche (le RAE) au Royaume-Uni 19
J. Enderby

Au sein et autour de la SFP 24

Vie de la SFP 24
Prix scientifiques 26
Vie d'EDP Sciences 27

Reflets de la physique et ses lecteurs 28

Index des articles publiés dans *Reflets de la physique* en 2006 et 2007 28
Courrier des lecteurs 29
Notes de lecture 30

Comité de rédaction
Président : Jean-Pierre HULIN
Membres : Patricia BASSEREAU - Michel BELAKHOVSKY - Jacques CHOMILIER - Anne DAVAILLE - David GUÉRY-ODELIN - Étienne GUYON - Pascale HENNEQUIN - Georges LANDA - Roland LEHOUCQ - Jérôme MARGUERON - Charles de NOVION - Sophie REMY - Claude SÉBENNE - José TEIXEIRA - Guy TREGLIA - Jean VANNIMENUS - Christophe YÈCHE
Directeur de la publication : Sylvie MAGNIER
Rédacteur en chef : Charles de NOVION
Secrétaire de rédaction : Agathe CYMER
Graphistes-Maquettistes : Lætitia MORIN - Keith VILLEMEUR
dépôt légal 2e trimestre 2008 - Commission Paritaire 0310 G 86176 - ISSN 1953-793 X © SFP
Édité à 2600 exemplaires - IMP Blanchard, 92350 Le Plessis-Robinson - 01.41.07.97.97
Société française de physique, 33, rue Croulebarbe, 75013 Paris - Tél. : 01.44.08.67.10. Fax : 01.44.08.67.19
e-mail : sfp@sfpnet.org - Serveur : http://www.sfpnet.fr
SFP Bulletin, Institut Henri-Poincaré, 11, rue Pierre-et-Marie Curie, 75005 Paris
e-mail : sfp-bulletin@ihp.jussieu.fr

Découverte de la première planète extrasolaire tellurique

Jean-Philippe Beaulieu[1,2,3] (beaulieu@iap.fr) et Arnaud Cassan[1,2,4]
1) Collaboration PLANET - 2) Programme HOLMES
3) Institut d'Astrophysique de Paris, CNRS, Université Pierre et Marie Curie UMR 7095, 98 bis, boulevard Arago, 75014 Paris
4) Astronomisches Rechen-Institut (ARI), Zentrum für Astronomie, Universität Heidelberg, Mönchhofstr. 12-14, 69120 Heidelberg, Allemagne

Pour détecter les planètes extrasolaires, l'utilisation du phénomène de microlentille gravitationnelle présente le grand avantage par rapport aux autres méthodes d'être la seule sensible aux planètes de faible masse situées à relativement grande distance de leur étoile – telle une Neptune ou une Terre en orbite à une dizaine d'unités astronomiques (UA). Nous présentons ici la découverte, grâce à cette technique, de la première planète tellurique, OGLE-2005-BLG-390Lb, une cousine glacée de la Terre environ cinq fois plus massive, évoluant sur une orbite de 2,6 UA autour d'une étoile naine rouge.

Les termes suivis d'un astérisque sont définis dans le lexique.

La fin du vingtième siècle a vu se transformer en réalité l'un des plus grands défis de l'Astronomie moderne : découvrir des planètes autour d'étoiles autres que le Soleil. Voilà déjà 12 ans qu'à l'Observatoire de Haute Provence, Michel Mayor et Didier Queloz ont détecté une planète de masse moitié moindre que Jupiter, en orbite autour de l'étoile 51 de la constellation de Pégase (51 Peg b) [1]. Grâce aux progrès instrumentaux et à la mise au point de nouvelles méthodes de détection, c'est tout un nouveau champ d'investigation qui s'est ouvert [2, 3], et près de 300 planètes qu'on appelle désormais « extrasolaires » sont connues à ce jour [4]. Une vaste compétition internationale s'est engagée, avec de grandes ambitions pour le futur. L'intérêt scientifique lié à la quête de ces planètes est en effet multiple : quelle est leur abondance et comment interpréter la grande diversité de leurs caractéristiques ? Quels sont les processus physico-chimiques qui ont présidé à leur formation ? Quels liens ont-elles entretenu avec leur disque protoplanétaire*, berceau probable de leurs premiers stades d'évolution ?

Un panorama des planètes et systèmes planétaires connus à ce jour fait en premier lieu apparaître une très riche diversité de leurs caractéristiques. Des « Jupiter » chauds telle 51 Peg b – planètes gazeuses, massives et extrêmement proches de leur étoile – aux planètes rocheuses, froides et distantes comme OGLE-2005-BLG-390Lb, c'est toute une gamme de conditions physiques qui s'offre aux astronomes. Les premières détections ont tout d'abord dévoilé un certain nombre de planètes géantes gazeuses de la famille de Jupiter, pour progressivement révéler l'existence de planètes de plus en plus petites. L'une des questions majeures est de savoir quelle place notre système solaire tient parmi ses homologues extrasolaires, comment il s'intègre ou se distingue des autres.

Actuellement, les modèles de formation des systèmes planétaires favorisent les scénarios d'accrétion autour d'un cœur : les planétésimaux* s'accumulent pour former des cœurs planétaires qui ensuite accrètent du gaz de la nébuleuse primitive [5]. Une prédiction de ce scénario dans le cas des étoiles naines M (de 0,1 à 0,5 $M_{\odot}$*) est que les planètes de faible masse* (comme Neptune ou la Terre) se forment en quelques millions d'années, à des distances comprises entre 1 et 10 UA. Les planètes plus massives (telle Jupiter) se forment, quant à elles, bien plus difficilement, car leur formation nécessite souvent un laps de temps (environ 10 millions d'années) plus grand que la durée de vie du disque protoplanétaire, et il ne reste plus de gaz pour les entourer d'une atmosphère.

Deux méthodes parmi les plus populaires sont la technique de mesure de vitesses radiales et celle des transits. Une planète en orbite autour d'une étoile induit une variation de la position de cette dernière (par rapport au centre de gravité étoile-planète) : l'oscillation de la distance aux observateurs terrestres se traduit par un déplacement Doppler de ses raies spectrales, alternativement vers le rouge et le bleu, que l'on peut mesurer par spectroscopie de précision – c'est la méthode dite des vitesses radiales. Dans certaines configurations, une planète va effectuer un passage – ou transit – devant le disque stellaire et provoquer une diminution apparente mesurable de la luminosité de l'étoile : c'est la méthode dite des transits. Autrefois limitée à la détection de planètes massives et proches de leur étoile, la méthode des vitesses radiales permet à présent de détecter des « Jupiter » sur une vaste gamme d'orbites (de 0,02 à 5 UA*), et des « Neptune » sur des orbites très courtes (inférieures à 0,2 UA). Les récentes mesures avec le spectrographe franco-suisse HARPS montrent que les planètes de quelques masses terrestres sur orbite courte sont désormais accessibles. Le satellite COROT, lancé avec succès en décembre 2006, devrait aussi détecter des Neptune chauds, sur des orbites de 0,02 à 0,4 UA.

Si ces deux méthodes ont démontré leur grande efficacité, elles présentent cependant un maximum de sensibilité pour des planètes géantes sur des orbites plutôt proches de leur étoile.

Lexique

Unité astronomique (UA)
Distance entre la Terre et le Soleil (149,6 millions de km). Cette unité est utilisée pour mesurer les distances dans les systèmes planétaires.

Parsec (pc)
Le parsec est défini comme étant la distance à laquelle une unité astronomique (UA) sous-tend un angle d'une seconde d'arc. Un parsec vaut 3,26 années-lumière, soit environ $3{,}1 \times 10^{16}$ m. Cette unité est utilisée pour mesurer les distances à plus grande échelle. Le centre de notre galaxie est situé à 8 kpc.

Milliseconde d'arc (mas)
Un degré est subdivisé en 60 minutes d'arc, elles-mêmes divisées en 60 secondes d'arc. La milliseconde d'arc vaut 10^{-9} radians, soit 2 m à la distance de la Lune.

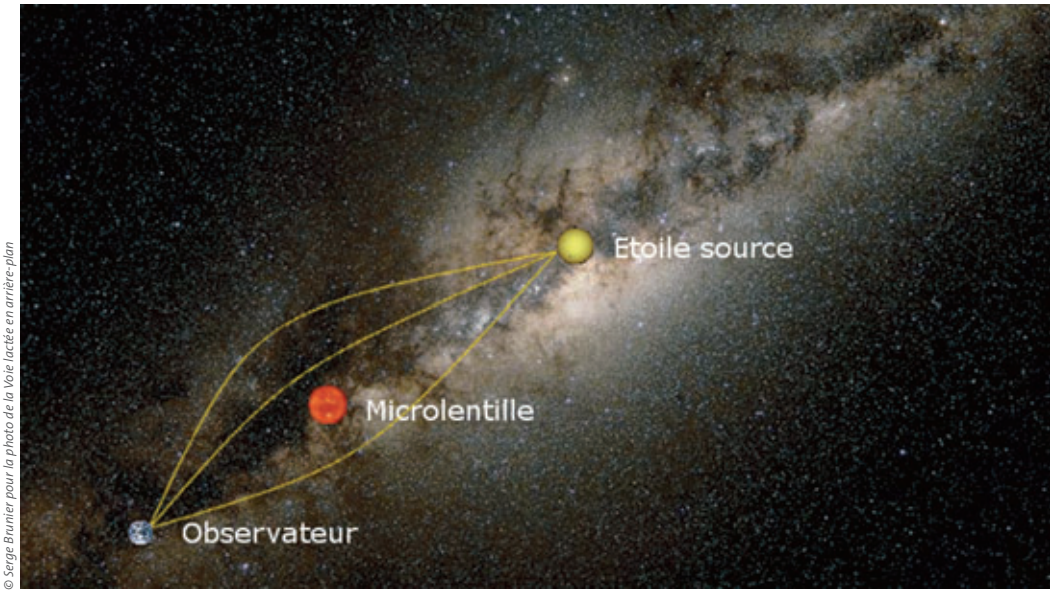
Rayon d'Einstein (RE)
C'est une quantité ne dépendant que de la masse de la lentille et des distances entre la source, la lentille et l'observateur. Dans le cas d'un alignement parfait source-lentille-observateur, l'image de la source est un anneau de rayon RE, de diamètre angulaire ~ 1 mas (voir l'encadré de l'article de Y. Mellier, dans *Reflets de la physique* n°1, p. 9).

Masses
La masse du Soleil est de $1{,}99 \times 10^{30}$ kg, et définit l'unité ($M_\odot$) utilisée par les astronomes. Deux autres unités, utilisées régulièrement, sont la masse de Jupiter (M_J) et la masse de la Terre (M_T). On a les relations suivantes : $1\ M_\odot = 1050\ M_J$ et $M_J = 318\ M_T$. La masse de Neptune vaut 17 M_T.

Planétésimaux
Corps rocheux préplanétaires.

Disque protoplanétaire
Les étoiles se forment à partir d'un nuage de gaz et de poussière en effondrement. La matière se condense dans un disque autour de la protoétoile en formation, et au sein de ce disque se forment des grumeaux qui vont devenir des planètes.

Bulbe et disque galactiques
Dans l'univers, les étoiles sont regroupées dans de vastes ensembles, appelés galaxies. La Voie lactée est une galaxie spirale, formée d'un disque dans lequel se distribuent les étoiles le long des bras spiraux, et d'un bulbe composé de vieilles étoiles au centre.



© Serge Brunier pour la photo de la Voie lactée en arrière-plan

Figure 1 : Description du phénomène de microlentille sur une photo de la Voie lactée (notre galaxie). Un phénomène de microlentille gravitationnelle galactique (aussi appelé « événement de microlentille ») a lieu lorsqu'une étoile lointaine, souvent située dans la partie centrale de la Voie lactée (le bulbe), passe très près de la ligne de visée d'une étoile d'avant-plan. Les rayons lumineux de l'étoile d'arrière-plan subissent alors une déviation, conformément aux lois de la relativité générale. Lorsque la microlentille est une étoile isolée, le flux lumineux de l'étoile source suit une courbe en cloche symétrique, très caractéristique du phénomène (en bas à gauche de la figure 2).

Prises à part, elles offrent ainsi une vision quelque peu biaisée, et le recours à des méthodes explorant des domaines d'orbite et de masse complémentaires est indispensable. Cet aspect est fondamental, en particulier dans le cas des planètes en orbite autour d'étoiles de faible masse, comme nous allons le voir.

Nous utilisons une autre méthode pour chercher des planètes extrasolaires, le phénomène de lentille gravitationnelle. Sa spécificité est d'offrir une sensibilité maximum pour des planètes sur des orbites de quelques UA, et non pas au plus proche de leur étoile. Elle présente ce grand avantage par rapport aux méthodes concurrentes d'être la seule méthode sensible à des exoplanètes sur des orbites de 1 à 10 UA, et pour un domaine de masses s'étageant de la Terre à Jupiter.

Détecter une planète par effet de microlentille

Durant un événement de microlentille, le flux lumineux d'une étoile « source » distante est temporairement amplifié par le passage d'un objet massif – la « lentille » – très proche de la ligne de visée vers l'étoile source (une fraction de milliseconde d'arc★) (fig. 1). L'amplification dépend directement de la distance angulaire entre source et lentille. Elle est exprimée dans une unité particulière, celle du « rayon d'Einstein »★, unité qui dépend de la masse de la lentille et des distances entre l'observateur, la source et la lentille. Pour une étoile source du centre de notre galaxie (le bulbe★) et une étoile lentille du disque★, le rayon d'Einstein est de l'ordre de 2 UA ; quant à la durée caractéristique du phénomène de microlentille, il est de l'ordre de 10 à 30 jours le plus souvent, et presque toujours compris entre 2 et 150 jours. Une planète en orbite autour de l'étoile lentille génère en général des « caustiques gravitationnelles », lignes imaginaires en projection sur le plan du ciel où l'amplification devient formellement infinie : si une étoile source traverse une de ces caustiques, un signal additionnel indiquera à coup sûr la présence de la planète autour de la lentille par une augmentation (ou une diminution) brève et brutale du flux amplifié en provenance de l'étoile source (fig. 2). La durée de cette perturbation planétaire est proportionnelle à la racine carrée de sa masse ; elle peut durer quelques heures pour une planète comme la Terre, jusqu'à quelques jours pour une planète plus massive (telle Jupiter).

Déterminer la nature de la lentille ayant généré la variation de luminosité observée, autrement dit le problème inverse, est malheureusement relativement complexe, parce que les modèles sont hautement non linéaires et l'espace des paramètres à explorer, vaste et parsemé de minima locaux. Le recours à des algorithmes performants (algorithmes génétiques ou méthodes de type « Markov Chain Monte-Carlo ») permet de surpasser la plupart de ces difficultés, mais ils sont extrêmement coûteux en temps et puissance de calcul. À l'issue de cette phase de modélisation, il est possible de déterminer le rapport de masse entre l'étoile et la planète, ainsi que leur séparation instantanée projetée sur le plan du ciel, en unité de rayon d'Einstein. Dans la plupart des

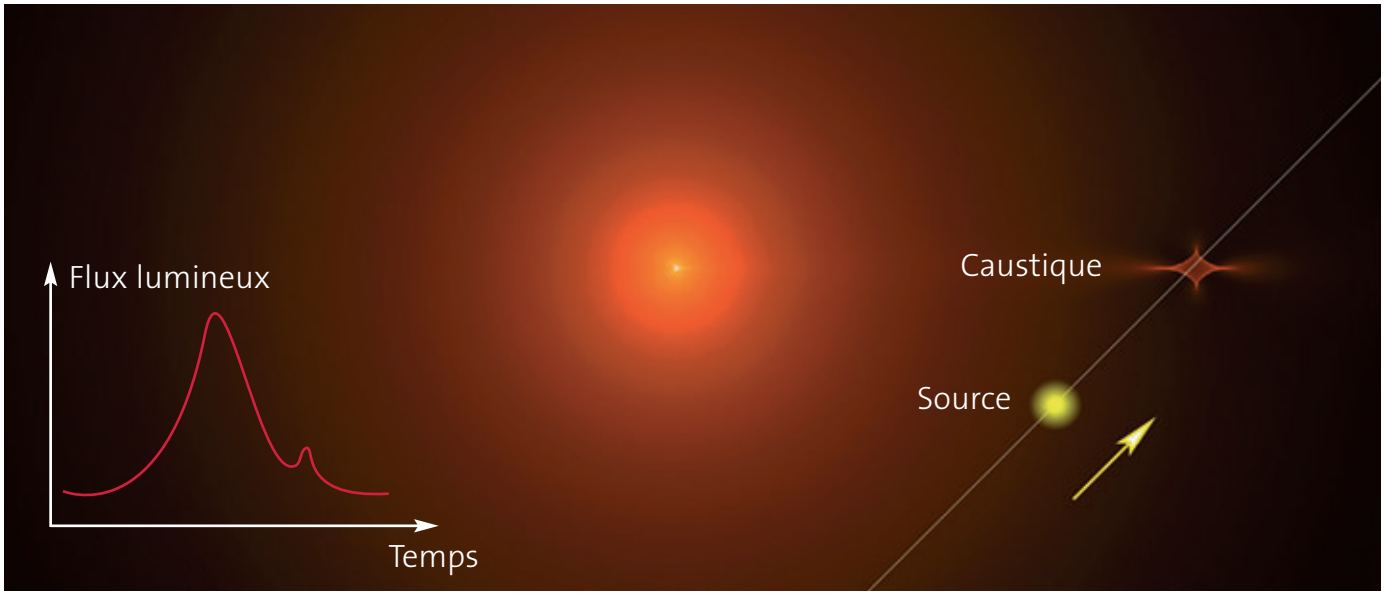


Figure 2 : Les microlentilles binaires sont composées de deux corps gravitationnellement liés, par exemple un système étoile-planète, et possèdent des propriétés remarquables. Sur cette figure, l'amplification du flux de la source en fonction de sa position est représentée par une carte projetée sur le ciel. L'amplification est d'autant plus grande que la couleur est claire à la position de source considérée ; les lignes brillantes sont des caustiques gravitationnelles, lieux d'accumulation de lumière comme en optique classique (ces caustiques sont situées entre les deux composantes de la microlentille). Au cours de son trajet (rectiliniaire en première approximation), la source (disque jaune) subit une amplification qui trace en fonction du temps la courbe présentée dans l'insert en bas à gauche de la figure. Le pic principal d'amplification est atteint lorsque le trajet de la source passe au plus près du centre de masse du système de lentilles. Quant au pic secondaire, il est produit lors de la traversée par la source de la petite caustique en forme de diamant. C'est ce dernier pic qui révèle la présence de la planète.

cas, une dernière étape faisant intervenir un modèle de notre galaxie se révèle nécessaire pour obtenir les paramètres du système planétaire dans des unités physiques habituelles. Ces paramètres sont alors estimés par une analyse de type bayesienne, qui fournit les densités de probabilités pour chaque paramètre du système.

Stratégie d'observation

L'observation de phénomènes de microlentille pose un défi observationnel. Il consiste à suivre un grand nombre de tels événements pour détecter et mesurer, sur des échelles de temps de quelques heures, des perturbations dans leur courbe de lumière dues à la présence de planètes. Des télescopes dédiés à des opérations de grands relevés (OGLE, MOA, voir *glossaire*, et autrefois EROS et MACHO) détectent aujourd'hui environ 600 microlentilles par an, et rendent publiques leurs positions dans le ciel.

Notre collaboration PLANET/ROBONET (voir *glossaire*) utilise alors un réseau de huit télescopes, de 0,6 m à 2 m de diamètre et équipés de caméras CCD, pour observer en continu, 24 heures sur 24, un certain nombre de microlentilles. La stratégie d'observation est optimisée et coordonnée pour maximiser les chances de détecter en temps réel le signal caractéristique engendré par la présence d'une planète.

La découverte d'une planète de 5,5 masses terrestres

Le 11 juillet 2005, la collaboration OGLE annonça sa 390e découverte d'une microlentille pour l'année en cours. Elle fut inscrite sur la liste de la vingtaine d'objets suivis par le réseau PLANET/ROBONET. Le maximum d'amplification fut atteint le 31 juillet. Nous avons continué à l'observer, et le 10 août les observateurs au télescope ESO danois au Chili, notèrent une déviation de 6% par rapport à une lentille simple ; une autre mesure une heure plus tard révélait cette fois une déviation de 12%. La collaboration OGLE publia alors ses données en ligne, et ses points de mesure venaient confirmer l'observation qu'une anomalie était en cours. Le télescope de Perth en Australie commença ses observations, mais ne put transmettre ses données. Du côté de l'Afrique du Sud, le ciel était couvert et, quand les observations recommencèrent au Chili, l'anomalie était terminée. Finalement, quand les données de Perth furent disponibles, elles confirmèrent qu'une anomalie de 10 heures avec une amplitude de 30% avait été observée (fig. 3). Deux mesures complémentaires de la collaboration MOA furent disponibles quelques jours plus tard, renforçant les preuves de l'observation d'un signal.

Glossaire : programmes de recherche de planètes extrasolaires

Collaboration PLANET *(Probing Lensing Anomalies NETwork)*
Programme international initié en 1995, regroupant une trentaine d'astronomes de 10 pays et utilisant 5 télescopes répartis dans l'hémisphère sud (Perth en Australie, Boyden et Sutherland en Afrique du Sud, ESO-La Silla au Chili, Hobart en Tasmanie (Australie)), pour effectuer une observation quasi continue des événements de microlentilles dans le bulbe galactique. En 2005, PLANET a joint ses forces au réseau RobotNet.

RobotNet
Réseau britannique de trois télescopes (Liverpool, Hawaï et Australie).

HOLMES *(Hunting cOol Low Mass Extrasolar planetS)*
Programme blanc 2006 de l'Agence nationale pour la Recherche.

HARPS *(High Accuracy Radial velocity for Planetary Search)*
Consortium franco-suisse piloté par l'Observatoire de Genève, utilisant un spectrographe pour mesure précise des vitesses radiales, situé au télescope ESO de La Silla (Chili).

OGLE *(Optical Gravitational Lensing Experiment)*
Collaboration américano-polonaise de recherche de la matière noire.

MOA *(Microlensing Observations in Astrophysics)*
Collaboration Nouvelle-Zélande–Japon.

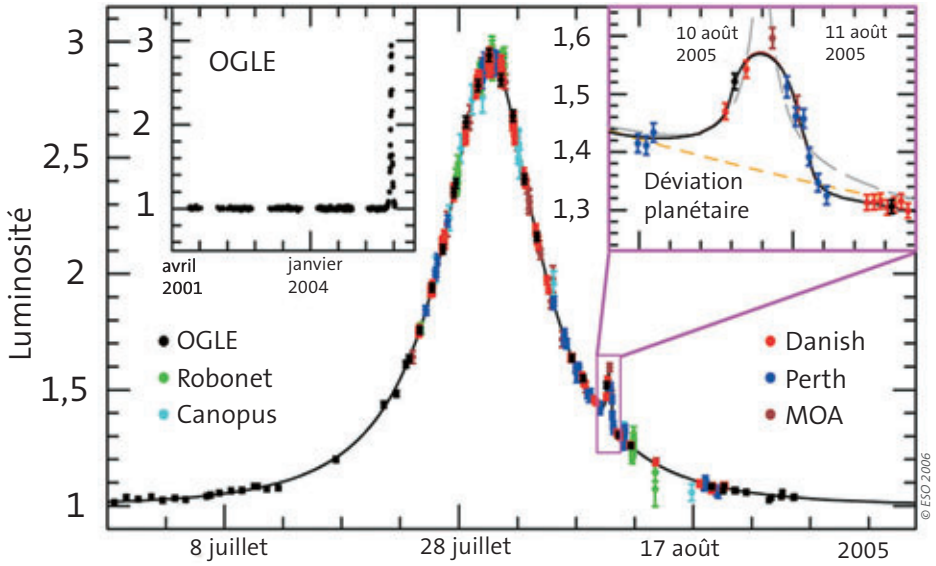


Figure 3 : Observations des variations de luminosité d'une étoile galactique dues à la microlentille Ogle-2005-BLG-390. Dans l'insert en haut à gauche, les observations d'Ogle entre 2001 et 2005. La figure principale représente la variation de la luminosité en juillet-août 2005 ; les différentes couleurs correspondent à divers télescopes ayant suivi ce phénomène. La ligne noire correspond à la meilleure description théorique du phénomène. Vers le 11 août, une anomalie est observée, qui est agrandie dans l'insert en haut à droite.

Une activité frénétique de modélisation débuta dans l'enthousiasme et, très rapidement, il fut clair qu'une petite planète venait d'être détectée. L'analyse fut relativement aisée, et donna un rapport de masse avec son étoile de $q = (7{,}6 \pm 0{,}7)\ 10^{-5}$, et une séparation projetée $d = 1{,}61 \pm 0{,}008$ (en unité du rayon d'Einstein). Nous avons alors réalisé une analyse bayesienne pour déterminer les distributions de probabilité des paramètres du système planétaire. Les valeurs médianes conduisent à une étoile de masse $0{,}22^{+0{,}21}_{-0{,}11}\ M_\odot$, située à une distance de $6{,}6 \pm 1{,}1$ kpc* dans le bulbe galactique.

La planète, Ogle-2005-BLG-390Lb, de masse égale à $5{,}5^{+5{,}5}_{-2{,}7}$ Terres, est sur une orbite de $2{,}6^{+1{,}5}_{-0{,}6}$ UA [6]. Il s'écoula à peine un mois entre la découverte de la planète et la soumission de l'article pour publication.

Esquisse d'un portrait d'Ogle-2005-BLG-390Lb

À partir des informations disponibles, certaines caractéristiques du système planétaire peuvent être inférées. Tout d'abord, cette planète est en orbite autour d'une naine de type M, petite étoile froide et peu lumineuse. L'énergie reçue à sa surface étant de 0,1 W/m^2 (15 000 fois moins que sur Terre), c'est certainement un monde glacial présentant une température de surface proche de 40 K, ce qui est comparable à Pluton. C'est aussi une planète tellurique, composée essentiellement de roches et de corps volatils, et elle pourrait être de même nature que la Terre ou, en supposant une fraction beaucoup plus importante d'eau dans sa composition, appartenir à la famille supposée des planètes-océans. Son cœur et son manteau rocheux produiraient une importante quantité de chaleur, dont l'origine serait la désintégration radioactive des isotopes de l'uranium, du thorium et du potassium ; elle pourrait être alors en mesure de maintenir un océan d'eau liquide sous une épaisse couche de glace durant plusieurs milliards d'années. Cependant, comme la planète est localisée dans le bulbe de notre galaxie, son âge probable avoisine dix milliards d'années (soit deux fois l'âge de notre Soleil), ce qui en fait un système très vieux. Le taux de chauffage venant de son manteau rocheux ayant décru au cours du temps, elle est donc vraisemblablement entièrement gelée aujourd'hui [7].

Les modèles ont pu montrer que pour les petites planètes très froides comme Ogle-2005-BLG-390Lb, l'existence d'un océan liquide sous une épaisse couche de glace serait possible durant plusieurs milliards d'années. On remarquera l'analogie avec certains satellites du système solaire, tels Europe et Ganymède, voire même certains objets de la ceinture de Kuiper, où l'on pense possible l'existence d'un océan liquide sous une couche de glace.

Ces planètes sont-elles très répandues ?

Nous avons effectué un premier bilan de l'efficacité de l'application de la technique de microlentilles à la détection de planètes extrasolaires, basé sur les données du programme Planet/RoboNet [8]. À ce jour, quatre planètes ont été détectées par cette méthode, deux géantes gazeuses et deux petites planètes glacées, pour lesquelles nous avons des efficacités de détection d'environ 50% et 2% respectivement. Plus récemment, une équipe menée par l'Ohio State University a mis en évidence par microlentille gravitationnelle un nouveau système planétaire qui possède un couple de planètes Jupiter-Saturne [9] ; il n'est pas exclu qu'autour de cette étoile existent aussi d'autres

En savoir plus...

1 • M. Mayor et D. Queloz, *Nature* **378** (1995) 355.
2 • F. Casoli et T. Encrenaz, *Bulletin de la SFP* Hors série - *BUP* **875** (2005) 117.
3 • F. Selsis, *Bulletin de la SFP* **154** (2006) 5.
4 • Voir l'encyclopédie interactive sur les planètes extrasolaires http://exoplanet.eu/
5 • G. Laughlin *et al.*, *ApJ* **612** (2004) L73.
6 • J.P. Beaulieu, D.P. Bennett, P. Fouqué *et al.*, *Nature* **439** (2006) 437.
7 • D. Ehrenreich *et al.*, *ApJ* **651** (2006) 535.
8 • A. Cassan *et al.*, 2007, *Proceedings of the IAU Symposium* n°249 (2008), p. 119.
9 • B.S. Gaudi *et al.*, *arXiv*:0802.1920v1, février 2008.

planètes intérieures bien moins massives et rocheuses, telles Mars ou la Terre, à l'instar de notre système solaire. Bien qu'il soit encore trop tôt pour tirer des conclusions définitives, le fait que le nombre de détections soit le même pour les petites planètes que pour les plus massives (et ce malgré une efficacité de détection bien plus faible pour les planètes peu massives) semble montrer que les petites planètes rocheuses seraient bien plus abondantes que les géantes gazeuses.

Les observations continuent, et d'ici environ quatre ans, nous espérons disposer d'une bonne estimation de l'abondance des petites planètes telluriques, avant le démarrage de programmes d'encore plus grande envergure pour détecter des « Terre » dans des conditions physico-chimiques favorables à l'éclosion de la vie [3]. ■

Cet article fut rédigé à l'invitation d'Alain Milsztajn, physicien au CEA, membre du comité de rédaction de *Reflets de la Physique*. Alain Milsztajn était un des piliers de la collaboration EROS (Expérience de Recherche d'Objets Sombres) qui traquait la matière noire dans le halo de notre galaxie par effet de microlentille gravitationnelle. Dans ses dernières semaines, il mettait la dernière touche à l'article donnant les résultats finaux d'EROS combinant 14 ans de données, et il nous aidait à rédiger ce petit article. Il nous a toujours encouragé dans nos travaux à la recherche des planètes par effet de microlentille sur les 12 dernières années. Enthousiaste, sympathique, d'une rigueur scientifique à toute épreuve, Alain était aussi le copain qui chantait de la musique baroque dans la coupole sous les étoiles, pendant que le télescope d'EROS traquait des microlentilles…

La chiralité des protéines fibreuses : une affaire d'élasticité

Sébastien Neukirch[1] (neukirch@lmm.jussieu.fr) et **Alain Goriely**[2]
1 - Institut Jean le Rond d'Alembert, CNRS et Université Paris 6, 4 place Jussieu, 75005 Paris
2 - Département de Mathématiques et Institut BIO5, Université d'Arizona, Tucson, USA

Les protéines fibreuses, telles que les kératines ou les collagènes, sont organisées à la manière de câbles. Il est couramment admis que leur conformation native est sélectionnée par la nécessité d'enfouir certains acides aminés clés au cœur de la structure. Nous montrons ici qu'il faut ajouter une contrainte de minimisation d'énergie élastique pour réellement sélectionner une structure unique.

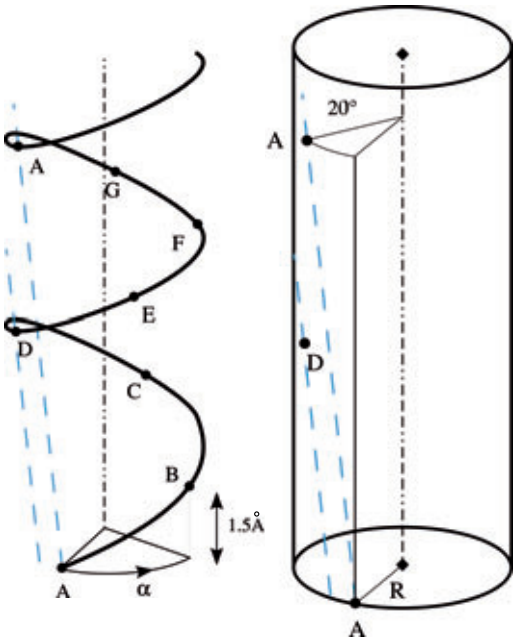


Figure 1 - À gauche : Structure en hélice alpha, constituée d'un motif périodique de sept acides aminés ABCDEFG, les acides aminés A et D étant hydrophobes. À droite : on considère l'hélice alpha comme un filament (cylindre) plein. On trace en tirets bleus les lignes joignant les acides aminés hydrophobes entre eux.

La question du repliement des protéines est un important sujet d'étude aujourd'hui en biophysique. Prédire et expliquer la conformation native (i.e. repliée) d'une chaîne d'acides aminés en fonction de la séquence est un problème complexe. Le caractère non local des interactions électrostatiques entre les acides aminés placés le long de la chaîne est responsable, dans le cas des protéines globulaires, de la lourdeur des calculs numériques nécessaires à la simulation du repliement. La situation est différente pour les protéines fibreuses, comme la kératine (que l'on trouve dans les ongles, poils et cheveux) ou le collagène (que l'on trouve dans les tendons et les os). De telles protéines s'organisent longitudinalement, à la manière de cordes ou de câbles, et bien qu'elles puissent donner lieu à des structures hiérarchiques complexes, le simple fait de la réduction de dimension (3D→1D) simplifie grandement le problème (en revanche, les interactions des chaînes avec le solvant deviennent importantes). Nous nous intéressons ici au second étage de la structure hiérarchique de la kératine, le superenroulement (fig. 2 droite), et montrons que l'on peut prédire, en alliant géométrie et élasticité, certaines propriétés de cette structure.

Une protéine est une macromolécule constituée de nombreux acides aminés reliés par des liaisons peptidiques. La structure primaire de la protéine est simplement l'énoncé de la séquence (linéaire) des acides aminés qu'elle contient. La façon dont plusieurs acides aminés, le long d'un intervalle de la séquence, se regroupent localement et se placent dans l'espace est le propre de la structure secondaire d'une protéine. L'hélice alpha, la principale structure secondaire, est une conformation où les acides aminés se placent le long d'une hélice (voir fig. 1, gauche), qui est stabilisée par l'établissement de liaisons hydrogène entre un atome d'oxygène d'un acide aminé n et un atome d'hydrogène de l'acide aminé n+4 situé un tour au-dessus dans l'hélice.

Comment enfouir les acides aminés hydrophobes : en créant des superenroulements...

La présence d'acides aminés hydrophobes peut pousser deux hélices alpha à s'enrouler l'une autour de l'autre de manière à enfouir ces acides aminés hydrophobes au milieu de la structure, minimisant ainsi leur interaction avec le solvant. La structure ainsi créée s'appelle un « superenroulement », baptisé *coiled-coil* par Francis Crick (fig. 2). La séquence périodique construite à partir d'un motif de sept acides aminés $(ABCDEFG)_n$, où les acides aminés A et D sont hydrophobes, est la répétition la plus fréquente et la brique élémentaire des fibres de kératine. Mais les hélices alpha ne sont pas les seules structures secondaires à former des superenroulements : les fibres de collagène sont construites autour d'une triple hélice, un superenroulement à trois brins où chacun des brins est lui-même une hélice constituée d'un motif périodique d'acides aminés. Ces fibres, bâties à base de superenroulements, ont des propriétés mécaniques remarquables : par exemple le tendon d'Achille d'un cheval peut résister à une force herculéenne, plus de 4000 kg, avant de rompre.

Le superenroulement à deux brins formé autour du motif en heptade $(ABCDEFG)_n$, avec A et D hydrophobes, a été décrit théoriquement par Francis Crick [1]. Dans ce modèle, le placement géométrique des acides aminés dans la configuration superenroulée est déterminé par la condition *géométrique* que les acides aminés hydrophobes des deux brins se font face et sont donc cachés du solvant. Crick donne alors les valeurs que le pas de la super-hélice doit prendre pour satisfaire cette condition géométrique. Cette construction peut être adaptée à des motifs différents, comprenant par exemple 11 acides aminés $(ABCDEFGHIJK)_n$, avec A et G hydrophobes [2]. Fraser et MacRae donnent une formule qui permet le calcul du pas et de la chiralité de la super-hélice en fonction *(i)* de l'angle (noté α sur la figure 1) entre deux acides aminés dans la configuration en hélice primaire (non encore superenroulée) et *(ii)* de la donnée des acides aminés hydrophobes [3].

Néanmoins, nous allons voir que la construction géométrique de Crick n'est pas unique, dans le sens où l'on peut construire une famille continue de superenroulements à deux brins dont le pas et la chiralité sont quelconques, mais qui satisfont tous la condition d'enfouissement des acides aminés hydrophobes. Partons tout d'abord de l'hélice alpha primaire (fig. 1, gauche), les acides aminés du motif en heptade suivent une hélice gauche. La dénivellation entre un acide aminé et le suivant est de 1,5 Å et la rotation de $\alpha = 100°$ (il y a 3,6 acides aminés par tour). Des liaisons hydrogène (verticales, non tracées sur la figure) lient les acides aminés entre eux et rigidifient et stabilisent la structure hélicoïdale. Aussi, nous allons considérer l'hélice alpha comme un filament (fig. 1, droite), c'est-à-dire un cylindre plein imaginaire qui répond élastiquement aux sollicitations de courbure et de torsion. Sur ce cylindre nous traçons deux lignes, l'une joignant les acides aminés A entre eux et l'autre joignant les acides aminés D entre eux. Ces deux lignes (en tirets bleus sur la figure 1) définissent une bande hydrophobe qu'il va s'agir d'enfouir au milieu de la superstructure. Chaque acide aminé A est décalé d'un angle de $\pi/9$ radians vers la gauche par rapport à l'acide aminé A précédent. La distance verticale entre ces deux acides aminés A est de 7 fois le pas : 7x1,5 Å. La torsion de cette bande bleue est donc de :

$\tau = -(\pi/9) / (7x1,5) = -0,033$ rad/Å.

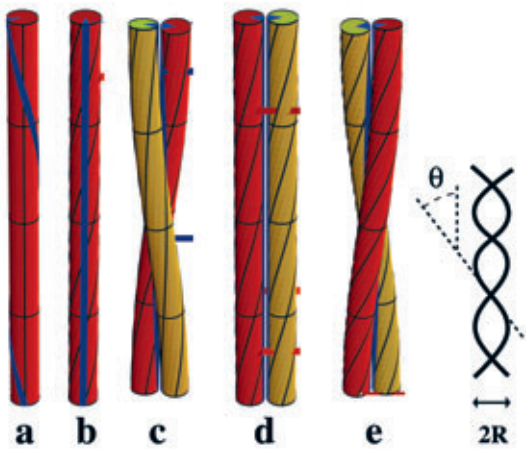


Figure 3 - De gauche à droite :
(a) hélice alpha avec sa bande hydrophobe enroulée gauche ;
(b) hélice alpha sous torsion de manière à ce que la bande hydrophobe soit rectiligne ;
(c) superenroulement de chiralité gauche ;
(d) deux hélices alpha parallèles ;
(e) superenroulement de chiralité droite.
Dans les trois dernières configurations, les bandes hydrophobes se font face et sont tournées vers l'intérieur de la structure. On remarque que la torsion (que l'on repère avec les lignes noires à la surface du filament) est plus importante dans la configuration e que dans la configuration c.
Schéma de droite : définition de l'angle de croisement θ entre les filaments.

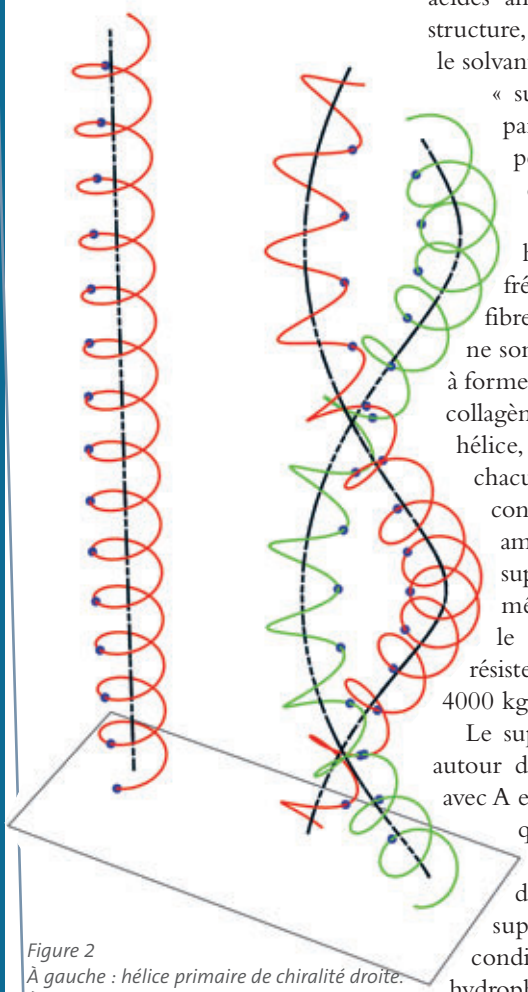


Figure 2
À gauche : hélice primaire de chiralité droite.
À droite : superenroulement, de chiralité gauche, de deux hélices primaires.
Les acides aminés hydrophobes sont représentés par des boules noires.

L'hélice alpha est donc modélisée par le filament de la figure 3a, et il s'agit maintenant d'assembler deux de ces filaments de façon à cacher leur bande hydrophobe. Une première possibilité est de tourner l'extrémité haute du filament dans le sens antihoraire, de façon à désenrouler la bande hydrophobe et la rendre rectiligne (fig. 3 b). On peut alors associer deux de ces filaments en mettant leurs bandes hydrophobes rectilignes en regard (fig. 3 d). En partant de cette configuration et en attachant ensemble les extrémités basses (et hautes) des deux filaments (comme si elles étaient encastrées dans un support), on peut laisser tourner (fig. 3 c) – ou forcer à tourner (fig. 3 e) – la superstructure sur elle-même de manière à obtenir un superenroulement gauche (fig. 3 c) ou droit (fig. 3 e). Dans les deux cas, les bandes hydrophobes sont en regard, orientées vers l'intérieur de la superstructure. Cette construction géométrique satisfait la contrainte d'enfouissage des acides aminés hydrophobes, quels que soient le pas et la chiralité de la superstructure : il existe en effet une famille continue de conformations passant par les structures c, d et e de la figure 3.

... qui adopteront une structure d'énergie élastique minimale.

Nous allons maintenant voir que la structure que la Nature adopte est celle qui minimise l'énergie de déformation élastique des deux filaments composant le superenroulement [4]. Lorsque l'opérateur tourne le filament de départ (fig. 3 a) de manière à désenrouler la bande hydrophobe, il exerce un couple de torsion (fig. 3 b). Lorsque deux filaments, à bandes hydrophobes rectilignes, sont placés en parallèle (fig. 3 d), le couple de torsion à exercer pour maintenir la structure est double. Pour déformer la structure vers les conformations à chiralité droite (fig. 3 e), on doit encore augmenter le couple de torsion appliqué. Par contre, si on laisse évoluer la structure vers les configurations à chiralité gauche (fig. 3 c), le couple nécessaire diminue et finalement s'annule. Cette structure isolée (non montrée sur la figure et atteinte légèrement avant la configuration postulée par F. Crick) à l'équilibre correspond à celle qui minimise l'énergie potentielle de déformation élastique des deux brins composant le superenroulement. On voit ainsi que c'est l'équilibre élastique qui sélectionne la chiralité et le pas d'un superenroulement, la contrainte géométrique d'enfouissage des acides aminés hydrophobes étant une condition nécessaire, mais non suffisante.

Conclusion

Nous observons donc que *la chiralité d'un superenroulement d'hélices alpha est donnée par la chiralité de la bande formée par les acides aminés hydrophobes sur l'hélice alpha*. Dans le cas du motif en heptade, cette bande hydrophobe est de chiralité gauche et le superenroulement associé (par exemple un dimère de kératine) l'est aussi. Et dans le cas d'un motif à 11 acides aminés, la bande hydrophobe est de chiralité droite et les superenroulements issus de ces motifs sont aussi de chiralité droite.

En 1991, la première structure cristalline haute résolution d'une protéine (GNC4) constituée de superenroulements d'hélices alpha a été établie [5]. L'élucidation de la structure de cette protéine fibreuse GNC4 a initié un fort regain d'intérêt pour les superenroulements, d'autant plus que la mutagenèse dirigée a permis de remplacer certains acides aminés choisis de manière à tester leur importance dans la sélection de la structure native de la protéine. Ainsi, en changeant un ou quelques acides aminés clés, on a pu passer d'un superenroulement à deux brins à un superenroulement à trois ou quatre brins. Cela a ouvert la voie à la synthèse de protéines *de novo* et au remodelage. L'étude des protéines fibreuses apparaît ainsi comme une astucieuse stratégie pour rechercher les facteurs déterminant la structure des protéines, une nouvelle façon d'attaquer le problème du repliement des protéines.

Remarque

On peut aisément faire l'expérience avec des filaments élastiques de latex ou de silicone (fig. 4) et mesurer l'angle de croisement entre les filaments dans la configuration superenroulée en fonction du nombre de tours que l'on a introduit dans chacun des filaments au départ (avant de les attacher par leurs extrémités, fig. 3 b). Un calcul de minimisation de l'énergie élastique [4] montre que l'angle de croisement (défini figure 3, schéma de droite) vaut $2\theta = 2\,R\,\tau$, où R est le rayon du filament et τ est la torsion que l'on a introduite dans chacun des filaments (fig. 3 b), c'est-à-dire la rotation (en radians) introduite, divisée par la longueur du filament. ■

Figure 4 - Modèle en caoutchouc synthétique d'un superenroulement de chiralité gauche [6].

En savoir plus...

1 • F. H. C. Crick, "The packing of alpha-helices: simple coiled-coils", *Acta Crystallographica,* **6** (8-9) (1953) 689-697.

2 • A. Lupas, "Coiled coils: new structures and new functions", *Trends in Biochemical Sciences,* **21** (1996) 375-382.

3 • R. D. B. Fraser et T. P. MacRae, "Conformation in Fibrous Proteins", *Molecular Biology,* Academic Press, New York and London, 1973.

4 • S. Neukirch, A. Goriely et A. C. Hausrath, "Chirality of coiled-coils: elasticity matters", *Physical Review Letters* **100** (2008) 038105.

5 • E.K. O'Shea, J.D. Klemm, P.S. Kim et T. Alber, "X-ray structure of the GCN4 leucine zipper, a two-stranded, parallel coiled coil", *Science* **254** (1991) 539-544.

6 • G. van der Heijden, J.M.T. Thompson et S. Neukirch, "A variational approach to loaded ply structures", *J. of Vibration and Control* **9** (2003) 175-185.

La nucléation des bulles de champagne

Une sorte de goutte-à-goutte inversé ?

Gérard Liger-Belair[1] (gerard.liger-belair@univ-reims.fr),
Alberto Tufaile[2], Philippe Jeandet[1] et José-Carlos Sartorelli[2]
1- Laboratoire d'œnologie et chimie appliquée, Université de Reims, BP 1039, 51687 Reims
2- Institut de Physique, Université de São Paulo, BP 66318, 05315-970 São Paulo, Brésil

L'observation attentive des trains de bulles qui grimpent le long des parois d'une flûte de champagne montre qu'un site de nucléation donné peut émettre des bulles suivant des rythmes très complexes et subir de brusques transitions entre différents régimes, tout au long du processus de dégazage. Nos observations expérimentales indiquent que l'intervalle de temps entre l'émission de deux bulles successives est un processus déterministe régi par un couplage entre la poche de gaz piégée dans le site de nucléation et la bulle fraîchement nucléée. Un modèle numérique de nucléation, construit sur ce principe, rend compte de certaines de nos observations.

Dans leur grande majorité, les bulles des boissons gazeuses naissent à partir de poches de gaz piégées dans des fibres de cellulose adsorbées sur les parois du verre. Ces fibres proviennent directement de l'air ambiant ou du torchon d'essuyage. Les bulles de champagne ne dérogent pas à la règle [1]. Une fibre de cellulose possède en son sein une cavité, le *lumen*, qui permet l'emprisonnement d'une minuscule poche d'air au moment où le champagne est versé dans la flûte.

La figure 1 illustre le processus de nucléation de bulles à partir d'une fibre de cellulose. Puisque le champagne est sursaturé en gaz carbonique dont l'unique dessein est de rejoindre une phase gazeuse, les molécules de CO_2 vont s'engouffrer par diffusion dans la poche de gaz piégée au sein de la fibre. La poche de gaz va donc grossir dans le *lumen* jusqu'à ce qu'elle atteigne l'un des deux bouts de la fibre. Une fois parvenue à l'une des extrémités de la fibre, une bulle se détache alors. La poche, dont la taille s'est réduite, pourra à nouveau grossir et engendrer une nouvelle bulle, et ainsi de suite jusqu'à ce que la concentration c_L en gaz dissous dans le liquide atteigne une valeur critique en dessous de laquelle le gaz carbonique ne peut plus diffuser vers la poche de gaz.

Une fibre standard pourra émettre plusieurs dizaines de milliers de bulles avant que la concentration en CO_2 dissous atteigne cette concentration critique. L'intervalle de temps caractéristique entre l'émission de deux bulles successives varie typiquement entre quelques centièmes de seconde et plusieurs secondes, suivant que la concentration en CO_2 dissous dans le liquide est importante ou non. Puisque le champagne évacue continûment son CO_2 dissous, l'intervalle de temps entre l'émission de deux bulles successives augmente continûment.

L'observation expérimentale

Certes, beaucoup de sites de nucléation dans une flûte émettent des bulles de façon régulière, à la manière d'un métronome. Cependant, l'observation attentive (à l'œil nu) d'une flûte de champagne nous apprend que l'émission des bulles n'est pas systématiquement aussi régulière qu'on pourrait le croire. Un site de nucléation donné peut émettre des bulles suivant des rythmes très complexes et subir de brusques transitions entre chacun de ces différents régimes de bullage, pour systématiquement finir par émettre des bulles de façon régulière et métronomique en fin de dégazage [2]. La figure 2 illustre notre propos. Un même site de nucléation sur la paroi d'une flûte de champagne

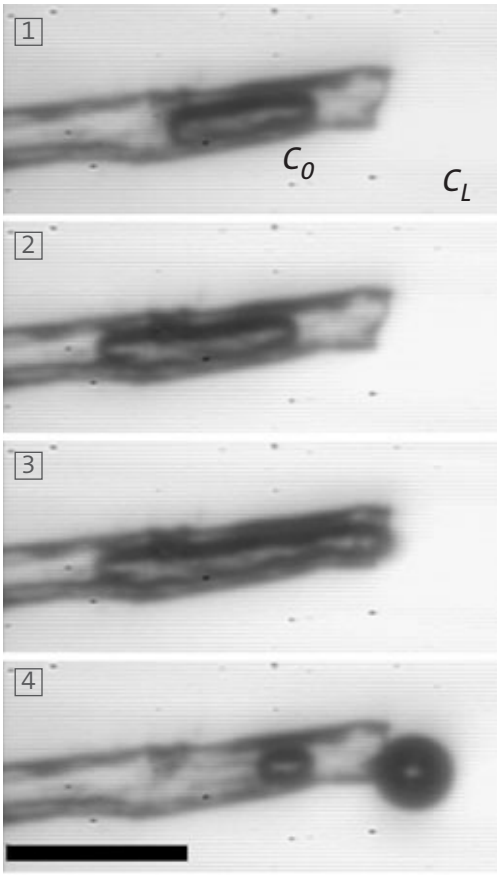


Figure 1 : Gros plan sur une période du cycle de production de bulles à partir d'une fibre de cellulose (barre = 50 µm). La poche de gaz piégée dans le lumen *de la fibre creuse grossit par diffusion. C'est la différence de concentration, $\Delta c = c_L - c_0$, en CO_2 dissous entre le cœur du liquide et le voisinage immédiat de la poche qui est à l'origine du processus de diffusion. Lorsqu'elle atteint un bout ouvert de la fibre, la poche de gaz se scinde en deux et émet une bulle qui entame sa course vers la surface. Environ 100 ms séparent chaque cliché. Entre deux émissions de bulles, la poche de gaz piégée dans le* lumen *oscille entre deux positions extrêmes.*

a été suivi au cours du temps, au cours du dégazage progressif. Avant d'émettre des bulles de façon métronomique (fig. 2d), le site passe par des régimes où le « bulle-à-bulle » est plus complexe. Sur la figure 2a, le site commence par émettre les bulles deux par deux. Il change ensuite de régime pour émettre des bulles de façon apparemment erratique (fig. 2b), puis trois par trois (fig. 2c). Enfin, le site change une dernière fois de régime pour se caler sur un rythme strictement monopériodique, au cours duquel les bulles sont émises à intervalles de temps constants (fig. 2 d).

Chaque fois que nous avons identifié un train de bulles présentant des instabilités de « bullage » de ce type, nous avons dirigé l'objectif d'une caméra rapide sur ces sites de nucléation « capricieux » pour essayer de voir ce qui se passe au moment même de l'émission des bulles. La séquence temporelle de la figure 3a nous présente une fibre de cellulose en train d'émettre des bulles sur un rythme binaire. Ce régime de nucléation binaire dure quelques dizaines de secondes, puis, cette même fibre change de régime pour émettre des bulles de façon métronomique, avec un intervalle de temps constant entre deux bulles successives (fig. 3b).

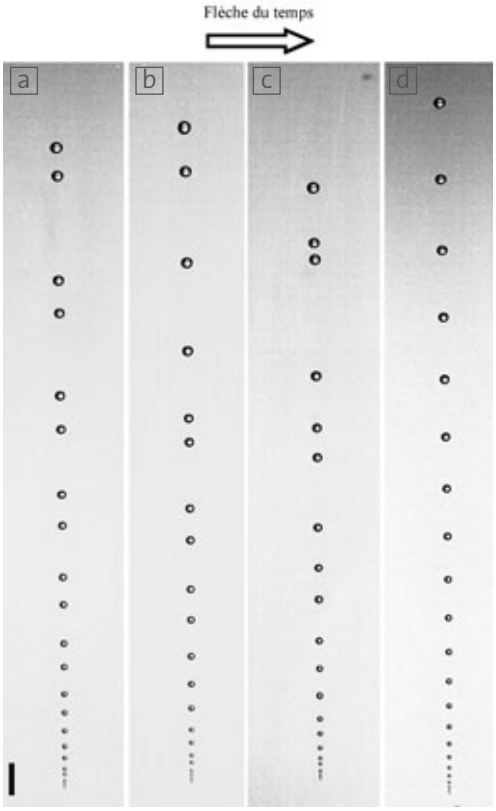


Figure 2 : Un site de nucléation est suivi au cours du temps pendant le processus de dégazage (de gauche à droite). Au cours de ce processus, on distingue plusieurs régimes de bullage bien distincts pendant lesquels l'intervalle de temps entre l'émission de deux bulles successives obéit à des rythmes complexes (barre = 1 mm).

Une analogie avec l'expérience mythique du robinet qui fuit ?

À première vue, ces observations sur les changements de régime qui peuvent se produire lors de l'émission des bulles à partir d'un site de nucléation dans une flûte, ne sont pas sans rappeler les changements de régime hydrodynamique qui se produisent lorsqu'un robinet fuit. C'est l'expérience, désormais mythique, de Robert Shaw [3]. En effet, suivant l'ouverture imposée par l'expérimentateur, un robinet qui fuit passe par une gamme de régimes qui vont du simple « goutte-à-goutte » monopériodique au régime chaotique. La transition vers le chaos se fait, dans ce cas, par « cascade de doublement de période ». Les gouttes sont d'abord émises une à une puis, lorsque le débit augmente, elles sont émises deux à deux, puis quatre à quatre, puis huit à huit, et ainsi de suite… jusqu'à l'obtention d'un régime chaotique. La nucléation des bulles de champagne obéit-elle à la même physique que celle d'un robinet qui goutte ?

Dans un premier temps, nous avions naïvement imaginé que la dynamique de ces sites de nucléation de bulles « irréguliers » pourrait être semblable à celle du robinet qui fuit. Le « bulle-à-bulle » produit par les fibres serait une sorte de goutte-à-goutte inversé. La différence de concentration Δc, force motrice du processus de diffusion, serait en quelque sorte l'analogue du débit imposé par le degré d'ouverture du robinet dans le cas du robinet qui fuit. Cependant, nous n'avons jamais pu mettre en évidence de séquences de doublement de période. Dans le cas du robinet qui goutte, le comportement non linéaire a pour origine l'oscillation de la goutte avant qu'elle ne quitte le robinet, le décrochement de la goutte pouvant être légèrement avancé ou au contraire retardé selon que l'oscillation de la

En savoir plus…

1 • G. Liger-Belair, *Effervescence ! La science du champagne,* Odile Jacob (2006).

2 • G. Liger-Belair, A. Tufaile, B. Robillard, P. Jeandet, J.-C. Sartorelli, *Phys. Rev E* **72** (2005) 037204.

3 • R. Shaw, *The dripping faucet as a model chaotic system,* Aerial Press, Santa Cruz (1984).

4 • H. Lamb, *Hydrodynamics,* Cambridge University Press (1993).

5 • C. Brennen, *Cavitation and bubble dynamics,* Oxford University Press (1995).

6 • G. Liger-Belair, A. Tufaile, P. Jeandet, J.-C. Sartorelli, *J. Agric. Food. Chem.* **54** (2006) 6989-6994.

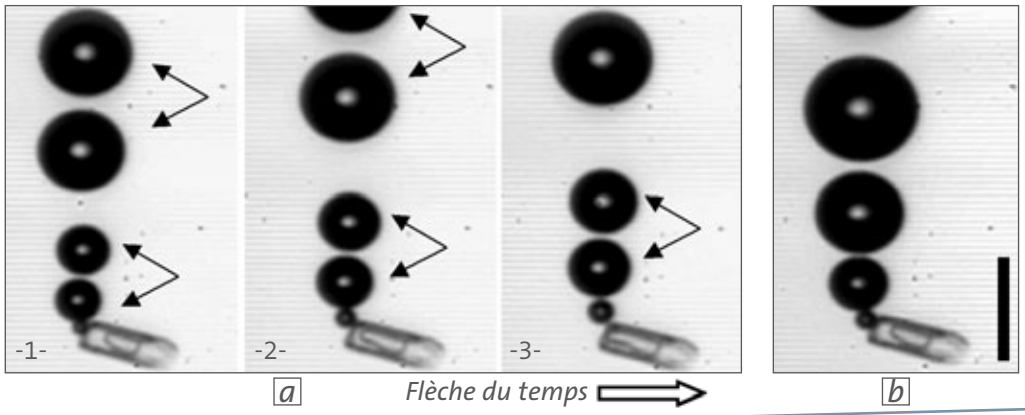


Figure 3 : (a) Gros plan sur une fibre de cellulose en train d'émettre des bulles sur un rythme binaire. Environ 40 ms séparent chacun des trois clichés. Les bulles resteront appariées tout au long de leur ascension dans la flûte. (b) Quelques dizaines de secondes plus tard, la même fibre de cellulose change brusquement de régime de bullage pour se caler sur un rythme monopériodique, au cours duquel les bulles sont émises à intervalles de temps égaux (barre = 50 µm).

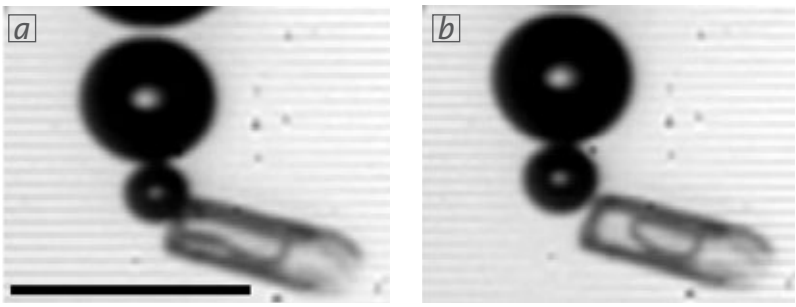


Figure 4 : Lorsqu'elle arrive en bout de fibre, il arrive qu'une partie de la poche de gaz du lumen *entre en contact avec la bulle précédemment émise et qu'elles coalescent, modifiant par là même la régularité de l'émission des bulles.*
(a) La poche de gaz piégée entre en contact avec la bulle précédemment émise.
(b) Une partie du gaz de la poche coalesce dans la bulle et la poche se rétracte dans le lumen, *avant de grossir à nouveau par diffusion. 1 ms sépare chaque cliché (barre = 50 μm).*

goutte pendante est en phase montante ou bien descendante. La fréquence propre d'oscillation d'une goutte pendante résulte d'un équilibre entre son inertie et sa tension superficielle. Elle prend la forme suivante : $f_G \approx 1/\pi\ (2\gamma/\rho R^3)^{1/2}$, où γ est la tension de surface du liquide, ρ sa masse volumique et R est le rayon caractéristique de la goutte [4]. On trouve une fréquence caractéristique de l'ordre de 15 Hz, pour une goutte d'eau pendante de quelques millimètres de diamètre. Il se trouve que cette fréquence est du même ordre de grandeur que celle du goutte-à-goutte du robinet qui fuit, ce qui explique le fort couplage entre ces deux paramètres. De plus, l'amortissement de cette oscillation se fait sur une échelle de temps caractéristique, $\tau_G \approx (\rho R^2/\pi\eta f_G)^{1/2}$, qui vaut environ 0,3 s (η étant la viscosité de l'eau). Ce qui signifie que, lorsque le débit du robinet n'est pas trop faible, l'oscillation se fait encore sentir lorsque la goutte atteint sa taille critique de décrochage. Le décrochage de la goutte est donc bien sous l'influence directe de cette oscillation.

Examinons maintenant l'ordre de grandeur des fréquences d'oscillation d'une bulle de rayon R émise par le *lumen* d'une fibre de cellulose. Cette bulle (juste après son détachement de la poche de gaz) va également osciller avec une fréquence caractéristique qui vaut cette fois-ci : $f_B \approx (1/2\pi)\ (3\Gamma P_B/\rho R^2)^{1/2}$ [4], où Γ est le rapport des chaleurs spécifiques à pression constante et à volume constant du CO_2 gazeux ($\Gamma \approx 1{,}3$), P_B est la pression dans la bulle (sensiblement égale à la pression atmosphérique) et ρ la masse volumique de l'eau. Dans le cas d'une bulle de 10 μm, la fréquence d'oscillation vaut environ 300 kHz. Cette oscillation est amortie au bout d'un temps caractéristique $\tau_B \approx \rho R^2/20\eta$ [5], qui vaut environ 10^{-5} s. Or, l'intervalle de temps entre l'émission de deux bulles successives à partir d'une fibre de cellulose étant de l'ordre de 10^{-1} s ($\gg \tau_B$), l'oscillation de la bulle naissante sera amortie bien avant l'émission de la bulle suivante. En définitive, l'oscillation de la bulle naissante ne peut en aucun cas jouer un rôle sur la dynamique de bullage d'un site de nucléation. La dynamique de notre système de bullage est donc fondamentalement différente de celle d'un robinet qui goutte, et la source des instabilités est ailleurs…

Une interaction entre la poche de gaz et la bulle naissante ?

Un examen attentif des séquences vidéo de nucléation nous a permis de déceler une forte interaction entre la poche de gaz piégée dans le *lumen* de la fibre et la bulle qui vient d'être libérée en bout de fibre. En effet, cette bulle a un diamètre de l'ordre de 10 μm. Elle monte sous l'effet de la poussée d'Archimède, mais à une vitesse u encore modeste à cause de sa petite taille (en effet, $u \approx (2\rho g/9\eta)R^2 \approx 50$ μm/s). Il se peut alors, lorsque les fibres de cellulose sont courtes, que la poche de gaz qui oscille dans le *lumen* entre en contact avec la bulle qu'elle vient d'émettre lors de son précédent aller-retour. Si c'est le cas, il arrive qu'une portion du gaz de la poche coalesce dans la petite bulle, brisant par là même la régularité du processus d'émission des bulles. La séquence de la figure 4 illustre ce phénomène. On constate donc que chaque aller-retour de la poche de gaz dans le *lumen* n'est pas forcément synonyme d'émission de bulle. Il existe un fort couplage entre la fréquence de bullage d'un site de nucléation et la fréquence d'oscillation de la poche de gaz dans le *lumen*.

Un modèle numérique de nucléation de bulles a été construit à partir des équations de Fick de la diffusion. Ce modèle, qui tient compte de la géométrie de la fibre et de cette interaction mécanique entre la poche de gaz piégée et la bulle qui vient d'être émise, présente effectivement des instabilités de bullage. Les transitions entre les différents régimes de bullage mis en évidence par le modèle numérique dépendent tout naturellement de la différence de concentration en CO_2 dissous Δc entre le cœur du liquide et le voisinage immédiat de la poche de gaz dans la fibre. Au cours du dégazage dans une flûte, Δc diminue progressivement. Les changements de régime de bullage prédits par le modèle suivent une séquence connue sous le nom de « route par addition de période » (fig. 5) [2,6]. ■

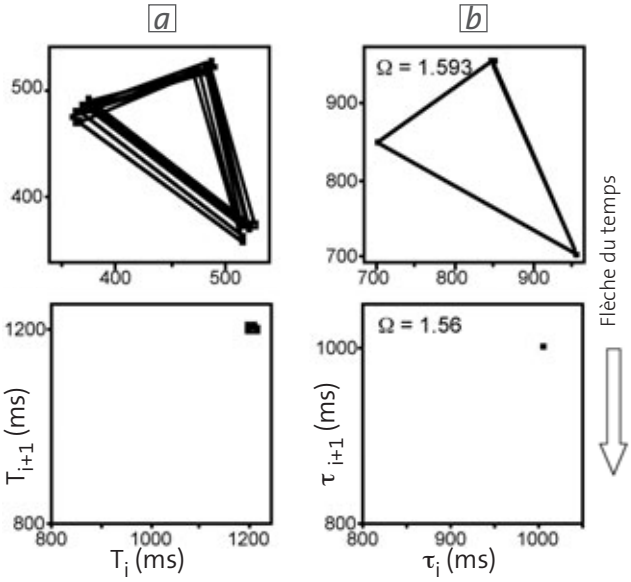


Figure 5 : Lorsque l'on représente, dans un repère à deux dimensions, l'intervalle de temps séparant l'émission de deux bulles successives en fonction de l'intervalle précédent, on obtient un attracteur caractéristique. Les attracteurs mis en évidence par le modèle (b) suivent des séquences identiques à certaines de celles que nous avons observées expérimentalement (a). Le paramètre Ω responsable des brusques changements de régimes dans le modèle dépend de la différence de concentration en gaz dissous Δc qui décroît continûment au cours du temps.
Dans les deux figures d'en haut, le régime de bullage est de période 3 (voir fig. 2c, p. 15) ; dans les deux figures d'en bas, il est monopériodique ($T_{i+1} = T_i$ – voir fig. 2d).

La Main à la Pâte, oui mais avec la Tête !

Régressions dans l'enseignement de la physique

José-Philippe Pérez (perez@ast.obs-mip.fr), Professeur émérite à l'Université de Toulouse (UPS)
Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse-Tarbes, UMR 5572 du CNRS/INSU et de l'UPS

La pratique pédagogique de l'enseignement de la physique dans les deux premières années de l'Université incite à formuler quelques réserves sur la mode actuelle du « tout manuel », qui atteint aussi l'Université.
Cette doctrine présente certainement un intérêt jusqu'au collège, mais n'y a-t-il pas quelques dangers à vouloir l'étendre au-delà, notamment pour enseigner des concepts de physique, lesquels sont tous élaborés ?
Et si on réhabilitait aussi la pensée, par exemple en introduisant un enseignement de la physique moderne, même qualitatif ?

Dans le contexte consensuel du programme « La Main à la Pâte », initié par Georges Charpak il y a quelques années [1], qu'il est, dit-on [2], de plus en plus question de généraliser à tout l'enseignement, « de la Maternelle à l'Université », je voudrais apporter une contribution de professeur de physique de terrain, ayant enseigné longtemps, et encore récemment, dans les deux premières années universitaires (L1 et L2 de la nouvelle licence européenne) et dans le service de préparation au concours externe de l'agrégation, à l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

La pratique de l'enseignement de la physique, en L1 et L2, semble montrer que les lacunes des étudiants, directement issus du second degré des lycées, proviennent moins d'une déficience dans l'approche expérimentale que de l'absence de recul théorique, de l'inexistence d'une réflexion culturelle et d'un défaut de motivation, en bref, d'un manque d'appropriation de la discipline, dans la pensée présente et à venir.

Il apparaît qu'à la faveur des récents ajustements des programmes, on ait déjà commencé à pratiquer au lycée « La Main à la Pâte », au détriment de l'aspect épistémologique et moderne de cette discipline. Effet collatéral qui n'est pas sans conséquence : pour un gain improbable en efficacité, le programme en vigueur est certainement à l'origine d'un surcoût budgétaire d'un élève de lycée, comme toujours au détriment des formations universitaires.

En outre, en limitant l'enseignement de la physique à ce qui peut être « touché », on a laissé de côté toute la physique du XXe siècle, voire celle du XIXe. Songeons qu'au programme du baccalauréat de 1904 figuraient, il est vrai sous l'impulsion de Paul Langevin, les rayons X, découverts moins d'une dizaine d'années plus tôt [3] ! Plus d'un siècle après, dans l'enseignement secondaire des lycées et dans son développement, à la fois naturel et exclusif, que sont les classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE), la distance entre l'enseignement de la physique et son aspect moderne n'a jamais été aussi grande. Cette insistance à ne parler que des grandeurs physiques que l'on peut « malaxer au quotidien » nous a éloignés des grands auteurs à l'origine des concepts essentiels de la physique, lesquels résultent inévitablement de processus de pensée élaborés.

Il est curieux de constater que cette distance est bien plus faible dans les sciences de la vie et de la Terre, où l'aspect moderne de ces sciences a été beaucoup développé. Ce modernisme ne serait-il pas à l'origine de l'intérêt des étudiants pour ces sciences, et cela malgré la faiblesse persistante des débouchés professionnels correspondants ? Ne pourrions-nous pas parler, nous aussi, de physique moderne, par exemple à partir d'un instrument technique répandu, le système de localisation spatiale GPS, dans lequel la relativité (restreinte et générale) ainsi que la physique quantique jouent des rôles essentiels ?

Faits révélateurs

La France ne participait plus, depuis plusieurs années, aux Olympiades Internationales de Physique, ouvertes aux seuls lycéens, quand Claude Cohen-Tannoudji, alors membre du jury, surpris par cette absence, intervint publiquement pour s'en émouvoir et souhaiter son retour, qui fut effectif en 2006. En comparant les programmes de ces Olympiades à ceux en vigueur au baccalauréat, on constata vite que l'enseignement secondaire en France apparaissait objectivement moins ambitieux que dans tous les autres pays développés, et même que dans certains pays émergents : les programmes de physique des lycées français étaient de loin les plus pauvres en physique moderne ! Une manière bien hexagonale de contourner cette difficulté a été d'y envoyer, non pas des lycéens du baccalauréat, mais des « étudiants » de la première année des CPGE ; hélas, même dans les programmes de ces classes, par ailleurs bien structurés, la physique moderne est dramatiquement absente !

Concernant l'enseignement post-baccalauréat, tout le monde doit avoir en tête que la France organise ses filières scientifiques, principalement en dehors des universités, à partir des concours nationaux au niveau « Bac. + 2 », dans lesquels le mot d'ordre est devenu plus que jamais, « le savoir-faire d'abord », autrement dit « la physique par les seuls problèmes ». Même l'écrit du concours externe de l'agrégation de physique est tombé dans cette ornière : ainsi, l'épreuve dite « Composition de Physique », en principe moins technique et plus culturelle que le « Problème de Physique », se réduit actuellement à une série

d'exercices de physique, typiquement issus des programmes des CPGE. Nous sommes loin du concours passé par Langevin en 1924, dans lequel figurait une épreuve d'histoire des sciences [3]. Quant à l'épreuve de montage, de loin la plus redoutée à l'oral par les candidats, elle se réduit à un savoir-faire sur des expériences en général élaborées et coûteuses. Rappelons qu'une expérience n'est, en dernière analyse, qu'une idée que l'on réalise : sans idée préalable, à vérifier, à tester ou à transcender, l'expérience est certainement distrayante, mais devient inutile si son coût pour la collectivité est exorbitant. Toujours dans ce même contexte, je me souviens, amusé, d'une intervention de Pierre-Gilles de Gennes, lors d'un colloque sur la formation des élèves des CPGE : pour expliquer le phénomène d'interférence, il comparait l'intérêt des bulles de savon à celui du coûteux interféromètre de Michelson, en s'exclamant : « … et, en plus de contenir une physique extraordinaire, les bulles de savon sont colorées » ! On a introduit cet interféromètre, instrument construit spécialement par Albert Michelson pour tester le comportement cinématique de la lumière, après avoir, quelques années auparavant, supprimé des programmes la théorie de la relativité restreinte !

Régressions

Parmi les régressions les plus significatives, m'apparaît d'abord le concept de quantité de mouvement, introduit par Newton, dès la première page de son traité [4], alors que c'est là un concept fort de la physique. Ensuite, vient celui de relativité galiléenne, pédagogiquement commenté par Galilée lui-même dans son expérience historique de pensée, de la chute d'un boulet du sommet du mât vertical d'un voilier [5]. L'extension de ce principe à l'électromagnétisme mériterait d'être mentionnée pour aborder, au moins historiquement, la théorie de la relativité restreinte d'Einstein (1905). Quant à la relativité générale (1916), on peut la commenter aisément avec l'expérience du tube de Newton, en soulignant l'exceptionnelle égalité de la masse grave et de la masse inerte [5].

À propos d'optique, réduite désormais à sa seule dimension instrumentale, on se féliciterait de l'abandon du principe de Fermat, si on l'avait judicieusement remplacé par une « Loi fondamentale de l'optique des rayons lumineux », comme en mécanique. Ce remplacement aurait permis un prolongement en optique électronique. En outre, curieusement, le concept fondamental d'interférence de deux ondes, qui s'appuie sur la superposition linéaire des champs, a totalement disparu des programmes du baccalauréat. Et pourtant les fentes de Young donnent lieu à de belles expériences simples, spectaculaires et en plus à la base de projets modernes et ambitieux en astrophysique ! Ajoutons que l'élargissement de ces expériences aux électrons et aux atomes permettrait une ouverture sur la physique moderne. Ainsi, aucune trace de la relativité et de la quantique, physique dont tout le monde parle, les journalistes, les philosophes, et même les économistes, à l'exception des élèves des lycées ! En CPGE, les programmes recommandent de citer leur existence par de simples remarques !

« Les lacunes des étudiants, directement issus du second degré des lycées, proviennent moins d'une déficience dans l'approche expérimentale que de l'absence de recul théorique. »

Quant à l'électronique, contentons-nous de déplorer, en CPGE, l'abandon du théorème de Thévenin. Actuellement, ce dernier n'est même plus énoncé, alors que sa démonstration originale, qui s'appuie essentiellement sur les propriétés de linéarité, est un régal d'intelligence, d'élégance et de simplicité [6].

Concernant la thermodynamique, dont Langevin disait qu'elle était particulièrement adaptée à la lutte contre la pensée magique, grâce notamment à l'analyse des deux types de mouvement perpétuel [3], elle est toujours absente depuis des dizaines d'années. On a tenté, dans un passé récent, de réintroduire le premier principe de la thermodynamique, mais sans le nommer, en entretenant une confusion avec l'énergie en mécanique et en s'éloignant trop d'une construction historique du concept d'énergie [7].

Alors que les jeunes étudiants sont de plus en plus séduits par une physique moderne et belle, car construite et raisonnée, on peut se demander si on n'accepte pas inconsciemment la consigne : former un peuple d'ingénieurs et de techniciens capables uniquement de manipuler la science sur ordre, sans la penser. Qui sont les faiseurs de programme de physique ? Sont-ils engagés dans une entreprise de déculturation scientifique tendant à réduire la science à son seul aspect technique ? Sont-ils à ce point insensibles à son esthétique apaisante ? Et si, finalement, l'esthétique était l'un des critères décisifs dans le choix des étudiants pour des études scientifiques [8] ?

L'université Paul Sabatier a tenté d'éviter ces régressions en proposant, en 2003, un programme modernisé d'introduction à la physique, dès le premier semestre d'orientation [9]. Cette réforme a dû certainement donner quelque satisfaction, puisqu'elle a été pratiquement reconduite en septembre 2007.

En conclusion, « La Main à la Pâte » à l'École Primaire et au Collège, certainement. Mais, au Lycée et, davantage encore, dans l'enseignement post-baccalauréat (CPGE, INSA, IUT, BTS, Université), adoptons plutôt le slogan [8] : « La Main à la Pâte, oui mais avec la Tête ». La question de l'antériorité du savoir par rapport au savoir-faire relève finalement de la seule pédagogie et donc de la seule conviction de l'enseignant, dans sa classe ou dans son amphithéâtre. Comme enseignant de terrain, je préférais m'appuyer sur un questionnement expérimental et structurer les résultats obtenus ; je pouvais alors aisément en dégager le savoir essentiel, ce qui permet en retour d'enrichir le savoir-faire et aussi de le maîtriser. ■

En savoir plus...

1 • G. Charpak, P. Léna et Y. Quéré, *L'enfant et la science*, Odile Jacob, 2005
2 • L. Lafforgue, *Les savants et l'école*, 17 mai 2006, site www.famille-ecoleeducation.net, p. 6.
3 • P. Langevin, *Propos d'un physicien engagé*, Vuibert, 2007, pp. 19, 179 et 184.
4 • I. Newton, *Principia*, Dunod, 2006, p. 3.
5 • S. Hawking, *Sur les épaules des géants*, Dunod, 2006, pp. 124, 819 et 863.
6 • L. Thévenin, « Sur un nouveau théorème d'électricité dynamique », *CRAS Paris* **93** (1883) 159.
7 • O. Pujol et J.P. Pérez, "How do we present the concept of energy in physics?", *Eur. J. Phys.* **28** (2007) 569.
8 • J.M. Lévy-Leblond, *Impasciences*, Point Sciences, 2003, pp. 29 et 63.
9 • J.P. Pérez *et al.*, *Physique, une introduction*, De Boeck, 2008, 492 pages.

Le Royaume-Uni jouit d'une recherche de grande qualité, les indicateurs quantitatifs le situent au deuxième rang mondial, derrière les États-Unis, en termes d'excellence scientifique. Représentant 5% du potentiel de recherche mondial, il produit 9% des publications, dont 13% des articles les plus cités. Quatre universités britanniques figurent parmi les 25 premières du classement de Shanghai, ce depuis le début. Et fin 2007, 58 jeunes chercheurs travaillant au Royaume-Uni ont été classés parmi les 300 premiers, sur 9617 candidats aux généreux *"starting grants"* de l'*European Research Council*, contre 39 basés en France et 32 en Allemagne. Ces très bons résultats sont obtenus alors que la part du PIB consacré à la recherche reste relativement faible, malgré le soutien à la science affiché par le gouvernement travailliste : elle n'était que de 1,73% en 2004 et de 1,9% en 2007, contre 2,16% en France (en 2004). Cela fait que le système britannique d'évaluation et de financement est souvent considéré par les « décideurs » comme un exemple à méditer, sinon à imiter, au même titre que le système américain. Il reste pourtant assez méconnu des chercheurs français. Aussi avons-nous demandé à Sir John Enderby de présenter pour les lecteurs de *Reflets de la Physique* le pilier de ce système, le "*Research Assessment Exercise*" (RAE), dont il fut le *chairman*.

Une évolution profonde du système britannique a été initiée par le nouveau Premier Ministre, Gordon Brown, après la rédaction de cet article ; elle suscite de vifs débats, et J. Vannimenus fait le point de la situation actuelle dans un article complémentaire.

La rédaction

L'exercice d'évaluation de la recherche (le RAE) au Royaume-Uni

Sir John Enderby (john.enderby@iop.org)
Professeur émérite à l'Université de Bristol, ancien président de l'Institute of Physics

Dans cet article, Sir John Enderby explique le fonctionnement de l'une des deux grandes composantes du système britannique d'évaluation et de financement de la recherche, les "Higher Education Funding Councils". Le "Research Assessment Exercise", instauré au milieu des années 1980, a mis en place une évaluation explicite et formalisée de la qualité de la recherche des universités britanniques.

Par tradition, la recherche universitaire au Royaume-Uni est financée par deux canaux principaux. D'une part, des projets de recherche spécifiques sont financés sur la base de leur coût par des agences sectorielles (les "Research Councils") et, à un moindre degré, par des sociétés de bienfaisance ("charities"). Sous réserve de quelques restrictions (par exemple, le proposant doit être salarié par une université ou un organisme de recherche majeur), les universitaires identifient un sujet de recherche, font une proposition pour obtenir un financement et attendent la décision. Celle-ci est prise à la fin d'un processus d'examen critique. Actuellement, le financement par les *Research Councils*(1) s'élève, au total, à environ 3 milliards de £ par an.

Une seconde source de financement, d'ordre de grandeur comparable à celle fournie par les *Research Councils*, provient des *Funding Councils for Higher Education*. Chacune des quatre nations(2) du Royaume-Uni a son propre « Conseil de financement ». En Angleterre, ce dernier est le HEFCE ("The Higher Education Funding Council for England"). Les fonds attribués ne sont pas liés à un projet particulier, et chaque université a une grande liberté pour les dépenser de la manière qui lui semble la plus appropriée. En pratique, une fraction importante des sommes attribuées est utilisée pour entretenir les infrastructures nécessaires à une recherche de haute qualité. La plupart des universitaires sont convaincus que le bilan de ce « système de financement double » est positif.

Dans les années 1970, ces financements étaient attribués aux Institutions, en grande partie sur la base de niveaux historiques. Des fonds additionnels étaient disponibles pour de nouvelles initiatives, mais l'évaluation systématique de la qualité de la recherche n'a été instaurée que vers le milieu des années 1980, avec la croissance du secteur de l'Enseignement supérieur. En 1986, le premier « exercice d'évaluation » (RAE : "Research Assessment Exercice") a été entrepris en mettant en place une évaluation explicite et formalisée de la qualité de la recherche. D'autres « exercices » de ce type se sont tenus en 1989, 1992 et 1996 ; ils sont devenus progressivement plus transparents, plus détaillés et systématiques. En même temps, comme nous le verrons, le financement est devenu plus sélectif, et le système de classement plus différencié. Le HEFCE a été invité à effectuer l'exercice d'évaluation au nom des quatre *Funding Councils* ; la répartition des financements en fonction des classements a été laissée au choix des Conseils, et les chiffres cités dans cet article se réfèrent spécifiquement à l'Angleterre.

L'exercice d'évaluation réalisé en 1992

Ce fut le premier du modèle actuel. La recherche a été classée en 72 domaines d'évaluation ("Units of Assessment", UoA), allant des sciences cliniques de laboratoire (UoA 1) à la science de l'éducation physique et sportive (UoA 72). La physique était évaluée par la commission 21, dont les membres étaient sélectionnés par le HEFCE, sur avis des universités, de l'Institute of Physics et d'autres sociétés savantes ("Learned Societies"). Les universités étaient libres de soumettre toute partie de leurs facultés qu'elles estimaient active en recherche. Chaque département était évalué sur 5 points (de 1 à 5), échelle déterminée selon la proportion de travaux considérés d'un niveau d'excellence international (I), national (N) ou sous-national (S). La note la plus élevée (5) correspondait à une part importante de I, avec N dans tout le reste. La note la plus basse (1) était attribuée aux départements qui n'avaient pratiquement pas de travaux de niveaux I et N. Les notes intermédiaires étaient plus ou moins des interpolations linéaires entre les notes extrêmes. Le financement qui s'ensuivait était proportionnel à la note attribuée moins un. Les départements notés 1 ne furent donc pas financés, et les départements notés 5 reçurent (par « personne active ») un montant 4 fois supérieur à celui d'un département noté 2.

La répartition du nombre de départements de physique en fonction de la note attribuée est montrée sur la figure 1.

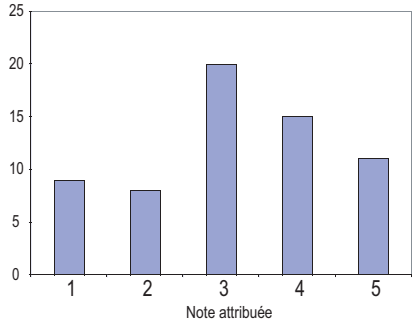


Figure 1 : Résultats du RAE 1992 pour la physique.

Le RAE 1996

Celui-ci introduisit quelques améliorations. Une nouvelle note supérieure (5★) a été introduite ; pour l'obtenir, les départements devaient convaincre la commission d'évaluation que 50% au moins du travail soumis était de classe internationale, et tout le reste de classe N. Ceci était un niveau difficile à atteindre et, en l'occurrence, seuls deux départements de physique ont été jugés avoir atteint ce niveau.

Une seconde amélioration fut la séparation des départements notés 3 en deux catégories : 3a et 3b. Ceci offrait la possibilité qu'une petite partie de recherche de niveau I soit reconnue, même si son volume n'était pas suffisant pour atteindre la note 4. La répartition des notes par département de physique apparaît sur la figure 2, et deux résultats en ressortent. D'abord, une amélioration de l'ensemble des notes, la note la plus fréquente s'élevant de 3 à 4. Ensuite, le nombre total de soumissions est passé de 69 en 1992 à 56 en 1996. Cette décroissance concernait essentiellement de petits départements qui n'avaient obtenu que des notes 1 et 2 dans l'exercice de 1992. Le financement en fonction des notes devenait plus sélectif, les départements notés 1 et 2 ne recevant aucun financement du HEFCE[3].

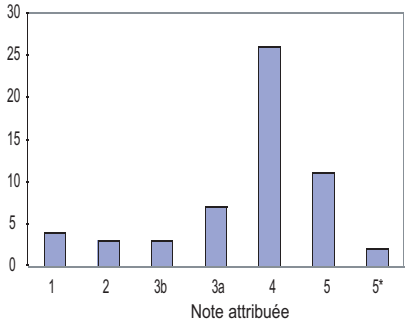


Figure 2 : Résultats du RAE 1996 pour la physique.

Le RAE 2001

Il est généralement reconnu qu'il s'agit de l'évaluation la plus rigoureuse et la plus large effectuée à ce jour. Elle est fondée sur l'expérience des exercices précédents. En physique, seuls 50 départements ont soumis leur recherche à évaluation, avec les résultats montrés sur la figure 3.

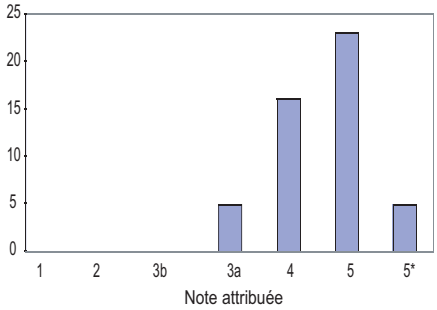


Figure 3 : Résultats du RAE 2001 pour la physique.

Le financement résultant de cette notation fut encore plus sélectif qu'en 1996. Il était nul pour les départements notés en dessous de 4. Le financement par chercheur actif était dans les proportions de 1 à 3,17 et 4,036 pour les niveaux 4, 5 et 5★ respectivement. Il est clair que les universités ont fait un effort considérable pour améliorer les notations entre 1996 et 2001, et ceci est généralement vrai pour toutes les disciplines. Le contraste entre 1996 et 2001 est montré sur la figure 4.

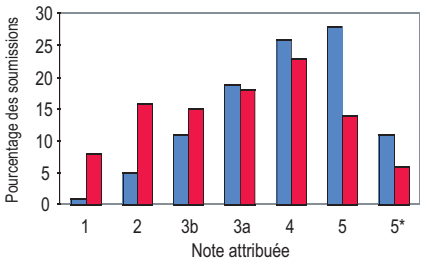


Figure 4 : Résultats comparés des RAE 1996 (en rouge) et 2001 (en bleu) pour l'ensemble des disciplines.

Cette amélioration apparente, en particulier aux niveaux les plus élevés (5 et 5★), est-elle réelle ? Quelques 300 experts internationaux extérieurs au Royaume-Uni ont vérifié les résultats de manière indépendante. Ces experts ont, en grande majorité, approuvé la demande d'excellence internationale issue des commissions d'évaluation et 97% d'entre eux confirmèrent que la norme fixée pour une qualité internationale était correcte.

Comment la commission d'évaluation de la physique travaille-t-elle ?

Toutes les commissions d'évaluation devaient définir ce qu'elles entendaient par excellence internationale, nationale ou sous-nationale. La commission de physique décida que :

- L'excellence internationale correspond à un travail hautement innovant, qui fournit une compréhension nouvelle, et a changé ou changera vraisemblablement les théories ou les pratiques expérimentales existantes.
- L'excellence nationale correspond à un travail innovant qui fournit une compréhension additionnelle, et aide au développement des théories ou des pratiques existantes.
- La recherche classée sous-nationale est un travail qui n'ajoute que peu ou pas de compréhension ou de pénétration.

Lors de son évaluation, la commission a particulièrement pris en compte les indicateurs suivants :

- La qualité de la production scientifique soumise à évaluation (chaque chercheur peut soumettre quatre articles de son choix).
- Des indicateurs d'estime : articles invités aux conférences majeures, implication de chercheurs dans des comités de travail éditorial ou de programmes de conférences, prix et récompenses, accueil de scientifiques étrangers de haut niveau…
- Nombre d'étudiants en recherche et de diplômes attribués, nombre d'assistants de recherche post-doctorale, de postes de chercheurs contractuels ("fellowships"), temps d'expérience obtenus dans les grands équipements…
- Quand la recherche est de nature appliquée, on prend en compte le degré de soutien des organismes extérieurs.

Chaque commission publie sa méthode de travail[4]. Citons quelques points clés :

- Chaque membre de la commission lit tous les dossiers.
- Au moins deux membres sont responsables d'une analyse plus détaillée de chaque dossier, et le présentent à l'ensemble de la commission, qui attribue par consensus une notation préliminaire.
- Si nécessaire, il est fait appel à des experts isolés ou à d'autres commissions.
- Les dossiers pour lesquels est proposée une notation élevée (5★, 5 ou les meilleurs des notés 4) sont également soumis à des experts étrangers (non UK), dont l'avis peut amener la commission à reconsidérer sa décision.
- Les notations de recherches interdisciplinaires sont harmonisées lors d'une réunion des présidents de commission.
- Les notations finales sont attribuées par consensus ou par vote des membres de la commission.

Acceptation du travail des commissions par la communauté académique

Il est indispensable que les commissions satisfassent aux critères d'indépendance, d'honnêteté et de légitimité. En 2001, le président était élu par les membres de la commission de 1996. Les autres membres de la commission étaient nommés par les sociétés savantes ; la plupart d'entre eux participaient pour la première fois. Aucun département n'était autorisé à avoir plus d'un membre dans la commission ; les répartitions géographiques et de taille des départements étaient équilibrées autant que possible. Malheureusement, malgré ses efforts, la commission de physique n'a pas réussi à recruter de membre féminin en 2001. Il n'y a pas eu d'objections significatives aux notes attribuées ; le sentiment général était que les commissions ont fonctionné honnêtement et sans idée préconçue.

Prévisions pour le RAE 2008

Après la campagne de 2001, le HEFCE a demandé à Sir Gareth Roberts d'effectuer un bilan[5] de la méthode d'évaluation et de faire des recommandations pour le prochain RAE (2008). Sir Gareth a consulté largement. L'avis général était que la qualité de la recherche au Royaume-Uni et les performances de ses universités avaient été grandement accrues par la procédure d'évaluation ; néanmoins, quelques réformes du RAE ont été jugées nécessaires.

- Avec une telle sélectivité, le moindre changement de notation peut avoir un impact majeur sur le financement, et dans certains cas ceci est injuste.
- Il y avait aussi une préoccupation au sujet de la comparaison entre les différents domaines de connaissance. En conséquence, Sir Gareth a proposé (et le HEFCE a accepté sa proposition) que les soumissions dans un domaine spécifique (par exemple la physique) soient d'abord examinées par une sous-commission qui, à son tour, rédigerait un rapport à une commission principale réunissant plusieurs domaines. Par exemple, la physique est dans la commission principale E, qui regroupe les sciences de la Terre et de l'environnement, la chimie et la physique.
- Mais le changement le plus radical concerne la présentation des résultats. Les sous-commissions évalueront la recherche soumise en fonction des critères publiés. Elles proposeront ensuite une recommandation à l'approbation de la commission principale. L'avis indiquera la proportion de recherche correspondant à chacun des quatre niveaux de qualité ou non classée. Dans chaque cas, la commission tiendra compte de trois composantes primordiales du dossier : production scientifique, environnement de la recherche et indicateurs d'estime. Les résultats seront publiés sous forme d'un « profil de qualité » pour chaque dossier dans chaque UoA (voir exemple dans le tableau 1 ci-dessous.)

Il y a un consensus général que cette approche est supérieure à celle adoptée précédemment ; la communauté académique attend avec grand intérêt de voir comment elle fonctionnera en pratique.

Conclusion

La plupart des universités reconnaissent maintenant qu'une sélectivité de financement résultant d'une évaluation est nécessaire, et que la manière dont le RAE s'est déroulé a joué un rôle positif dans l'obtention de ce résultat. Après 2008, il est tout à fait possible que le RAE, ayant atteint le but affiché, soit remplacé par un régime de fonctionnement piloté par des indicateurs, basé par exemple sur les capacités à obtenir des financements des *Research Councils*. Toutefois, ceci est pour le futur et nécessitera encore du travail pour être accepté par la communauté académique. ■

Unité évaluée	Personnel de recherche équivalent plein temps soumis à évaluation	Pourcentage d'activité de recherche dans la soumission jugée satisfaire aux critères d'obtention de :				
		4	3	2	1	Non classé
Université X	50	15	25	40	15	5
Université Y	20	0	5	40	45	10

Tableau 1 - Fonctionnement proposé pour le RAE 2008 : exemple de profil de qualité pour deux soumissions hypothétiques. Les niveaux de qualité sont définis comme suit :

4 : Qualité mondialement prépondérante en termes d'originalité, d'importance et de rigueur.

3 : Qualité mondialement excellente en termes d'originalité, d'importance et de rigueur mais qui, néanmoins, n'atteint pas les niveaux d'excellence les plus élevés.

2 : Qualité internationalement reconnue en termes d'originalité, d'importance et de rigueur.

1 : Qualité qui est reconnue au niveau national en termes d'originalité, d'importance et de rigueur.

Non classé : Qualité inférieure aux critères retenus pour les travaux reconnus de niveau national, ou travail qui ne correspond pas à la définition de la recherche publiée dans le cadre de cette évaluation.

(1) Il y a sept *Research Councils*. La physique est concernée par deux d'entre eux : l'EPSRC (Engineering and Physical Science Research Council) et le STFC (Science and Technology Facilities Council).

(2) Angleterre, Écosse, Pays de Galles, Irlande du Nord.

(3) Généralement, les départements pas ou peu financés ont été fermés, ou bien, dans quelques cas, fondus dans un département voisin. 19 départements ont ainsi été fermés entre 1992 et 2001, à la suite de leur faible notation.

(4) Une commission comprend typiquement 10 à 12 membres, de nationalité britannique, mais ne travaillant pas nécessairement au Royaume-Uni.

(5) Le rapport de Sir Gareth Roberts, président du Wolfson College, Oxford, a été publié en mai 2003 et se trouve sur le site : http://www.ra-review.ac.uk/

Sir John Enderby CBE FRS

Sir John Enderby a été éduqué à Londres, où il a obtenu son diplôme de thèse de doctorat (PhD). Il est *Senior Research Fellow* et professeur émérite de physique à l'université de Bristol, et conseiller scientifique en chef à l'Institute of Physics Publishing (IOPP). Il a été élu *Fellow* de la Royal Society (FRS) en 1985, et est devenu son secrétaire en physique et son vice-président en 1999. Il a été élu Fellow de l'Institute of Physics en 1971, et en a été président de 2004 à 2006. Il a été directeur associé UK de l'Institut Laue Langevin (Grenoble) de 1985 à 1988.

Le domaine de recherche principal du Professeur Enderby concerne la structure et les propriétés des liquides, des verres et des solides amorphes. Il a publié plus de 180 articles dans ce domaine. Son travail de recherche actuel porte sur l'étude des liquides en lévitation à très haute température, et sur les méthodes non invasives de mesure du taux de glucose chez les humains. Il préside Melys Diagnostics Ltd, une compagnie spécialisée dans les applications des techniques optiques en physique médicale.

Il a été élu *Fellow* de l'Academia Europaea en 1989, et a été fait Commandeur de l'Ordre de l'Empire britannique (CBE) en 1997. Il a reçu de très nombreuses récompenses et distinctions britanniques et internationales, en particulier le prix et la médaille Guthrie de l'Institute of Physics en 1995. Une de ses fonctions les plus récentes a été la présidence du *Research Physics Panel* pour les universités britanniques. Il a été anobli en 2004 pour services rendus à la science et à la technologie.

Le système britannique : une évolution en cours

En mars 2006, Gordon Brown, alors chancelier de l'Échiquier (ministre des finances), prit le monde académique par surprise en se prononçant publiquement en faveur d'une simplification radicale du RAE et pour le recours à un système fondé sur des « indicateurs métriques », au lieu de l'évaluation par les pairs. Il allait ainsi très au-delà des recommandations du rapport Roberts, qui préconisait des modifications du RAE tout en conservant un rôle prépondérant à la "peer review". Diminuer le coût de l'exercice, évalué à 100 M£ une fois tous les 6 ans, était sans doute une motivation forte pour lui, mais des critiques plus fondamentales avaient été émises – en particulier, qu'après une période de forte sélectivité où un nombre assez important de départements avaient disparu ou fusionné, les universités avaient appris à « jouer le jeu », et les résultats devenaient assez prévisibles.

Devenu Premier Ministre en juin 2007, Gordon Brown a effectué un redécoupage des ministères et créé le "Department for Innovation, Universities and Skills" (DIUS). Ce ministère détient à la fois la tutelle des HEFC (qui jouent le rôle tenu en France par l'AERES pour l'évaluation, et par la Direction générale de l'Enseignement supérieur pour le financement) et celle des Research Councils (analogues de l'ANR, et dans une moindre mesure d'organismes comme l'INSERM), qui dépendaient antérieurement du Department for Trade and Industry. Les deux canaux demeurent néanmoins nettement séparés, ce que la communauté académique estime crucial. La réforme de l'évaluation a été confirmée : le RAE 2008 est maintenu, mais au moins pour les sciences dures, il doit être remplacé à partir de 2010 par le "Research Excellence Framework" (REF), fondé principalement sur des indicateurs bibliométriques, comme le taux de citations et le facteur d'impact. Cette réforme a suscité de nombreuses critiques, venant aussi bien des universités que d'institutions comme la Royal Society et la Royal Academy of Engineering, mais aussi des Research Councils eux-mêmes, qui tous plaident pour que le jugement des pairs continue à jouer un rôle important. Une consultation auprès des parties intéressées a été lancée par le HEFCE et s'est achevée en février 2008. Un exercice pilote est actuellement mené, et les opposants à la réforme demandent un report d'un an du projet, afin de pouvoir tenir compte de ses résultats et aboutir à une méthode d'évaluation plus équilibrée à leurs yeux.

Dans le même temps, une réforme du mode d'attribution des contrats par les Research Councils a également été engagée, un poids plus important devant être donné aux retombées économiques des projets (mais le nombre et le montant des contrats obtenus ne font *a priori* pas partie des indicateurs retenus pour le REF).

Le Royaume-Uni sera le premier grand pays scientifique à mettre en place une telle méthode d'évaluation par indicateurs. Gageons que les résultats en seront suivis et analysés avec intérêt par les responsables politiques des autres pays. À suivre donc !

Jean Vannimenus
(jean.vannimenus@lps.ens.fr)
Laboratoire de Physique Statistique de l'École Normale Supérieure de Paris

En savoir plus...

1 • "Les conseils de recherche britanniques", Service Sciences et Technologies de l'Ambassade de France à Londres, juillet-août 2007 http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/2007/smm07_057.htm

2 • J-F. Mela, "Évaluation de la recherche universitaire en Grande-Bretagne" http://jfmela.free.fr/jfmblog

3 • "Backing peer review", *Education Guardian weekly*, 12 février 2008 http://education.guardian.co.uk/egweekly/story/0,,2255697,00.html

4• D. Cressey, "English grants under review", *Nature* **41**, 28 février 2008, p. 1039.

Prix d'instrumentation en Chimie Physique

Créé en 2007 par la Division de Chimie Physique
de la Société Française de Chimie
et de la Société Française de Physique

Récompense la personne ou l'équipe ayant récemment réalisé une instrumentation innovante en chimie-physique.

Le prix sera remis à l'occasion du Salon Mesurexpo 2008

Doté de : 2500 €

Parrainé par : Jobin Yvon Horiba, Amplitude Technologies, Quantel, Anton Paar France, Teclis, Genewave, Leica Microsystems

Soumission : Dossier sous forme numérique (fichier pdf). Il devra présenter de manière détaillée la partie innovante et l'originalité de son apport, sans dépasser cinq pages (en dehors des brevets et des publications sur l'innovation). Il faudra préciser si la candidature concerne une équipe ou une personne.

À envoyer à : Francois.Piuzzi@cea.fr

Date limite de soumission du dossier : 15 juin 2008

Energy : A challenge for 21st century physics

Cette conférence, sous l'égide
de l'European Physical Society
et de la Société Française de Physique,
se tiendra aux Houches (Haute-Savoie)
du 2 au 5 juin 2008

La conférence est organisée comme un dialogue entre chercheurs des institutions publiques et privées.
Son objectif est de démontrer l'impact de la physique sur toutes les questions se rapportant à l'énergie (production, stockage, distribution, déchets, impact sur l'environnement) et d'examiner les technologies de l'énergie en fonction de leur potentiel et du bénéfice qu'apporterait un effort accru de recherche.

Programme et formulaire d'inscription
sur le site internet de la SFP :
www.sfpnet.fr

Informations :
Prof. Jean-Louis Bobin - Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)
LULI-LAPD, Casier 128
Site Raphael, 3 rue Galilée
94200 Ivry-sur-Seine
e-mail : **bobin@ccr.jussieu.fr**
Fax : 33-(0)1-44-27-75-37

Recrutement

Grande entreprise internationale recrute pour sa R&D un physico-chimiste ayant au moins dix ans d'expérience dans les domaines de recherche suivants : polymères, matériaux composites, relations entre les propriétés structurelles des matériaux à l'échelle nanométrique et leurs propriétés mécaniques (techniques de changements d'échelle, échelle mésoscopique…).

Une double compétence en physico-chimie et en mécanique (rhéologie des matériaux complexes, tribologie, mélangeage, thermique…) est vivement souhaitée.

Le poste offert est, dans un premier temps, un poste d'expert de haut niveau dans le cadre de la R&D de l'entreprise.
L'un des objectifs de ce poste est le développement de relations de recherche entre la R&D de l'entreprise et la recherche universitaire. L'autre objectif de ce poste est l'acquisition des compétences nécessaires pour une prise de responsabilité, dans le cadre de la R&D de l'entreprise.

Le salaire proposé sera fonction de la carrière effectuée.
Le premier poste sera en Europe. L'évolution postérieure de la carrière dans l'entreprise est ouverte.

Merci d'envoyer un CV accompagné d'une bibliographie, et des noms de quatre ingénieurs ou chercheurs de référence, à : christinebenard@earthlink.net

L'assemblée générale du 2 février 2008

Elle s'est ouverte à 9h dans l'amphithéâtre Hermite de l'Institut Henri Poincaré, 11 rue Pierre et Marie Curie, 75006 Paris.

En début de séance, Joël Le Duff, trésorier, a communiqué le rapport financier de l'année 2007 tel qu'il est détaillé dans les documents qui ont été envoyés à chaque membre de la Société : un compte de résultat, un bilan et un budget prévisionnel pour l'année 2008 (voir le message du trésorier, ci-contre). Après lecture du rapport des rapporteurs aux comptes, l'assemblée a approuvé à l'unanimité les comptes de l'an 2007 et le projet de budget 2008. L'assemblée a approuvé l'adhésion systématiquement couplée à l'abonnement à *Reflets de la Physique*, ainsi que l'augmentation des cotisations pour 2009. Le montant de la cotisation de base s'élèvera donc à 95 euros.

Sylvie Magnier a ensuite donné le résultat des élections pour le renouvellement du Conseil d'administration et du Bureau (voir p. 25). Notons les nouveaux entrants au Bureau, Pierre Billaud, responsable de l'action Jeunes, et Charles de Novion, rédacteur en chef de *Reflets de la physique*, qui remplacent Johannes Orphal et Jacques Treiner.

La Présidente, Michèle Leduc, a fait le point sur les dossiers qu'elle a développés en 2007 : action vers les jeunes, rapprochement avec les autres sociétés savantes de physique. Elle a adressé ses remerciements au Vice-Président sortant, Roger Maynard, et présenté le nouveau Vice-Président, Yves Petroff (voir notice, p. 25).

Puis, elle a procédé à la remise du Prix « Jeune Chercheur » Daniel Guinier 2007 à Geoffroy Lesur, et des Mentions du jury « Jeunes chercheurs » à Mathieu Le Tacon et à Laurent Ponson.

Geoffroy Lesur, lauréat du prix Daniel Guinier, nous a alors présenté ses travaux de modélisation sur les « instabilités et sources locales de turbulences dans les disques d'accrétion », effectués au Laboratoire d'Astrophysique de Grenoble et qui, de l'avis des meilleurs experts, vont avoir un profond impact sur la théorie des disques astrophysiques.

En point d'orgue de la réunion, la Présidente a remis le Prix Jean Ricard 2007 à Jean-Michel Raimond (voir notice, p. 26). J.M. Raimond a alors conclu la matinée par une conférence passionnante : « Atomes et cavités : la lumière prise au piège », montrant que la manipulation des systèmes quantiques isolés, en permettant la réalisation des expériences de pensée des pères fondateurs de la physique quantique, a complètement renouvelé l'intérêt pour la physique quantique fondamentale.

Sylvie Magnier
Secrétaire Générale de la SFP

Michèle Leduc remet une mention « jeune chercheur » à Laurent Ponson pour ses travaux sur la propagation des fractures dans les matériaux désordonnés, effectués au laboratoire Fast de l'Université Paris-Sud à Orsay.

Message du Trésorier

Le résultat brut de l'exercice 2006-2007, bien qu'en nette régression par rapport aux deux exercices précédents, reste confortable avec une marge de + 12766 euros.

Si on enlève les produits financiers et les charges financières, le compte d'exploitation, siège et sections locales confondus, présente toutefois un déficit considérable. La société reste donc très dépendante de ses revenus financiers qui, pour l'essentiel, proviennent de EDP Sciences et EPL. On rappelle que ces recettes ne peuvent être considérées comme récurrentes, ce qui rend la situation fragile et préoccupante.

En effet, les recettes en provenance des cotisations sont en régression de - 4114 euros par rapport à l'an passé. Ces recettes restent très en dessous des frais généraux relatifs au fonctionnement du siège. On notera que l'augmentation des cotisations de 13,3% à la fin 2004 n'a apporté, en moyenne sur trois ans, qu'une augmentation de 3,3% des recettes correspondantes, la société ayant perdu des adhérents actifs. Par ailleurs, nous constatons un nombre important d'adhérents à titre gracieux et promotionnel. De fait, le nombre total d'adhérents, toutes catégories confondues, reste voisin de 3000.

L'activité des sections locales présente un déficit, mais la trésorerie reste satisfaisante ; on note un déséquilibre important entre les sections, et le siège a distribué quelques subventions aux sections les plus démunies pour satisfaire à des actions spécifiques. Faute d'un bilan d'engagement de la part des sections locales, il n'est pas possible pour l'instant, d'un point de vue purement comptable, de leur créer une réserve spécifique.

Un nouveau poste de dépenses « communication » a été ouvert cette année ; il concerne la réalisation de la nouvelle plaquette SFP et la prestation de Mme R. Haab pour l'établissement d'un « dossier mécénat ».

La mise en pages et en illustrations de la revue de la SFP, dans sa nouvelle formule *Reflets de la Physique*, a été considérablement améliorée, ce qui s'est traduit par une augmentation du coût de réalisation.

L'ensemble des considérations précédentes a conduit à proposer successivement au Conseil et à l'Assemblée Générale, des augmentations de 4 euros et de 3 euros respectivement pour la cotisation et l'abonnement à *Reflets de la Physique*. Les deux instances ont émis des votes favorables. Par ailleurs, elles ont également accepté l'idée, défendue par le Bureau, de coupler cotisation et abonnement, tout au moins pour les adhérents actifs, ce qui conduit à une nouvelle adhésion à 95 euros, applicable dès le 1er octobre 2008, et dont 66% est déductible de l'impôt sur le revenu.

Le budget prévisionnel 2007-2008 est équilibré.

Joël Le Duff

Yves Petroff, Vice-Président entrant de la SFP

Après un doctorat obtenu en 1970 au Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure de Paris, il effectue un séjour de plusieurs années à l'Université de Californie à Berkeley comme « NSF fellow », puis professeur. Il rentre en France en 1975, rejoint le laboratoire de LURE, devient Directeur de Recherche au CNRS et est nommé Directeur- Adjoint puis Directeur du LURE à l'Université Paris Sud. Il va alors installer, avec J. Lecante, des expériences toutes nouvelles portant sur la photoémission des métaux et supraconducteurs, lance la construction avec Y. Farge du premier laser à électrons libres dans le visible et réalise, avec une équipe de Thomson, des expériences originales de lithographie basées sur l'utilisation du rayonnement synchrotron.

De 1993 à 2001, il devient le Directeur Général de l'ESRF à Grenoble. Entre 2001 et 2003, il repart au LBNL (Université de Berkeley). De 2003 à 2005, il est nommé Conseiller au ministère de la Recherche, chargé des grandes installations. Il préside pendant cette période l'International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) et, depuis 2004, il est membre du forum scientifique européen sur les grandes infrastructures (ESFRI).

À la SFP, il souhaite poursuivre les actions initiées par ses prédécesseurs Roger Maynard et Michèle Leduc. En particulier, il a à cœur de promouvoir la SFP auprès de la communauté des ingénieurs et tient à privilégier les contacts avec les autres sociétés savantes de notre discipline, en France et dans le monde.

Pierre Billaud, Président de la commission « Jeunes de la physique »

Pierre Billaud est âgé de 29 ans. Diplômé de l'Institut d'Optique, il a préparé une thèse de doctorat au LASIM de Lyon sur les propriétés optiques de nanoparticules de métaux nobles. Puis il a effectué un travail post-doctoral à Genève sur la propagation d'impulsions laser femtoseconde dans le cadre du projet Téramobile. Depuis, il est Maître de conférences à l'université d'Orsay, où il effectue ses recherches au Laboratoire des collisions atomiques et moléculaires.

Il s'est impliqué depuis 2006 dans l'action de la SFP en direction des « jeunes ». Sa présence au Conseil d'administration et au Bureau vise à renforcer cette action, en particulier par la construction d'une rubrique dédiée dans le site internet de la SFP et par la création d'une « Bourse de l'emploi » avec la Société Française de Chimie.

André Roussarie

André Roussarie nous a quittés le 18 décembre 2007. Major du DEA de physique des particules, André a rejoint en 1968 le service de physique des particules du CEA, où il a participé à des expériences auprès du synchrotron Saturne.

À Stanford (USA), sa contribution aux résultats sur la production des paires de pions dans les collisions photon-photon fut essentielle. Après son retour, il s'est impliqué fortement dans ALEPH auprès du collisionneur LEP du CERN. Il a dirigé le groupe de Saclay, le conduisant à jouer un rôle important dans les analyses de physique, et a proposé une méthode de mesure précise de la masse du boson W.

André a toujours su endosser les responsabilités importantes. À la SFP, il fut un président particulièrement actif de la division Champs et particules.

C'est au cours de cette activité professionnelle très intense qu'il a été victime d'un accident de santé majeur en 1990, ce qui l'obligé à abandonner toutes ses activités de physicien.

Nous n'oublierons pas l'excellent physicien que fut André, sa profonde motivation pour la science, sa personnalité chaleureuse, son optimisme, sa fougue et sa générosité.

Pierre Bareyre et Marie-Claude Lemaire

Résultat des élections

Votants : 618
Blancs et nuls : 6
Moins une voix pour S. Magnier

Sont élus pour 3 ans :

Blanchet Valérie (478 voix)
Lambert Jérôme (427 voix)
Massacrier Gérard (379 voix)
Zarrouati Marc (348 voix)
Machefert Frédéric (339 voix)
Pacaud Jérôme (323 voix)
Mazouffre Stéphane (316 voix)
Lollman Dave (302 voix)

Le Bureau au 2 février 2008

Leduc Michèle, présidente
Petroff Yves, vice-président
Magnier Sylvie, secrétaire générale
Le Duff Joël, trésorier
Billaud Pierre, secrétaire
Dauchot Olivier, secrétaire
de Novion Charles, secrétaire
Petipas Claude, secrétaire
Mosser Vincent, secrétaire

Le Conseil au 2 février 2008
(200X : année d'élection)

Abada-Zeghal Asmaa (2007)
Antoine Rodolphe (2007)
Benlahsen Mohammed (2007)
Blanchet Valérie (2008)
Bodnar Jean-Luc (2007)
Bordet Pierre (2006)
Boudenot Jean-Claude (2006)
Brémond Georges (2007)
Contreras Sylvie (2007)
Cosléou Jean (2006)
Couprie Marie-Emmanuelle (2006)
Dagréou Sylvie (2007)
Emery Sandrine (2006)
Jousseaume Sylvie (2007)
Knoop Martina (2006)
Lambert Jérôme (2008)
Loiseau Annick (2007)
Lollman Dave (2008)
Machefert Frédéric (2008)
Magnier Sylvie (2006)
Massacrier Gérard (2008)
Mazouffre Stéphane (2008)
Pacaud Jérôme (2008)
Saint-Jean Michel (2006)
Tanguy Anne (2007)
Zarrouati Marc (2008)

Jean-Michel Raimond

Prix Jean Ricard 2007

Né en 1955, ancien élève de l'ENS Ulm, Jean-Michel Raimond a effectué toute sa carrière au Laboratoire Kastler Brossel. Depuis 1988, il est professeur à l'université Paris 6. Il est membre Senior de l'Institut Universitaire de France. Il a obtenu avec M. Brune le grand prix Ampère décerné par l'Académie des Sciences en 1998. J.M. Raimond est actuellement le principal collaborateur de Serge Haroche et l'élément moteur de l'équipe « Électrodynamique quantique en cavité » de l'ENS.

Ces quinze dernières années, les recherches de J.M. Raimond ont porté sur le couplage d'atomes de Rydberg très excités avec une cavité de haute finesse et, plus récemment, sur l'intrication et l'information quantique. L'équipe de J.M. Raimond et S. Haroche a obtenu un nombre impressionnant de résultats de tout premier plan, qui sont des références internationales dans le domaine. Citons le plus récent, l'observation de la vie et de la mort d'un seul photon par la mesure des sauts quantiques du champ dans la cavité. Cette expérience représente l'aboutissement d'un projet à très long terme avec l'amélioration acharnée de la finesse des cavités supraconductrices, et elle ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de l'information quantique et de la compréhension profonde du monde quantique.

J.M. Raimond a publié plus de 100 articles dans les meilleures revues. Il a 7500 citations dans le "Web of Science". Ceci traduit simplement le fait qu'il a réalisé toute une série d'expériences *text book* en Mécanique quantique. S. Haroche et J.M. Raimond viennent de publier en 2006 un livre, *Exploring the quantum*, qui est déjà une référence dans ce domaine.

Jean-Eudes Augustin

Prix Félix Robin 2007

Jean-Eudes Augustin est né en 1940. Sa carrière de recherche a débuté dans les années 1960, au Laboratoire de l'Accélérateur linéaire d'Orsay, où il a participé à la mise en place et à l'optimisation de l'anneau de collision électron-positon. Il a alors apporté des contributions importantes à la physique des mésons.

En 1972, il a été invité au SLAC à Stanford, où il a travaillé sur l'anneau de collision SPEAR. En 1982, il a été l'un des pères fondateurs du détecteur DELPHI auprès du collisionneur électron-positon LEP du CERN. Il a joué un rôle important dans cette expérience imposante et complexe, qui a fonctionné avec succès pendant 11 ans. Il en est rapidement devenu coordinateur scientifique et en a été le porte-parole pendant 2 ans.

Il a présidé le Comité européen des accélérateurs futurs (ECFA) de 1989 à 1992 : c'est pendant ces années que le projet du LHC a été élaboré et présenté au CERN, qui en a décidé la construction. Sa connaissance du domaine est telle qu'il a été consulté en 2003 pour aider l'ITRP (Comité de recommandation technologique international) à choisir le type de cavités accélératrices pour le collisionneur linéaire international (ILC), projet majeur de la communauté des physiciens des particules après le démarrage du LHC.

En résumé, Jean-Eudes Augustin, qui a dirigé deux grands laboratoires français à Lyon (IPNL) et à Paris (LPNHE), est un physicien des particules très reconnu avec une connaissance profonde de la phénoménologie, un expérimentateur couronné de succès et un conseiller avisé dans le domaine des accélérateurs.

Denis Weaire

Prix Holweck 2008 (conjoint IOP-SFP)

Denis Weaire, 63 ans, est professeur au département de physique de Trinity College à Dublin. Il a été président de la Société européenne de physique.

Ce physicien théoricien, extrêmement tonique, est sans doute le physicien irlandais le plus reconnu internationalement aujourd'hui. Il a eu une grande carrière scientifique en deux phases : une première autour de la physique électronique des solides, et une autre, plus récente, sur la matière molle et plus précisément sur les mousses dont il est un des experts mondiaux les plus reconnus.

Dans la première période, qui a concerné l'étude des semi-conducteurs amorphes, Denis Weaire a eu une contribution essentielle en démontrant rigoureusement qu'on pouvait avoir un *gap* dans une structure amorphe (*Phys. Rev. Lett.* 1971), et pas seulement un *pseudo-gap* profond, comme l'avaient défendu pendant longtemps des gens comme John Ziman. Une autre contribution très jolie date de sa thèse : Weaire a montré pourquoi le gallium, par exemple, était aussi mou.

La période récente est marquée par son intérêt pour l'étude des mousses, de leur structure, croissance et rhéologie. Il a justement obtenu un résultat fameux pour les mousses en volume (*Phil. Mag. Lett.* 1994) : il a calculé une structure tridimensionnelle de gouttes d'égal volume, mais d'aire superficielle moindre que celle postulée par Lord Kelvin.

Weaire a rassemblé son expérience sur les mousses dans le livre *Physics of Foams*, publié (en collaboration avec Hutzler) en 2000, qui est déjà un classique. On y retrouve les qualités remarquables du Weaire conférencier : imagination, enthousiasme, simplicité.

Jean-Marc Quilbé

Vous trouverez dans cette rubrique une série d'articles qui évoqueront différents aspects de la problématique de l'édition scientifique.

L'édition scientifique, un métier en mutation

Les bases : pourquoi communiquer ?

En endossant l'habit du chercheur, je proposerais comme première raison, bien sûr, la diffusion de mes travaux et le partage avec ma communauté de la connaissance nouvelle apportée par mon article, tout en m'en assurant la paternité. La deuxième serait le « marquage » de mes compétiteurs, afin de prendre date dans l'établissement de résultats. La troisième serait la participation volontaire et active à la création d'un corpus de textes scientifiques validés et cohérents, servant de base à de nouvelles recherches. La quatrième établirait un lien avec ma réussite professionnelle actuelle et future. En effet, il est nécessaire d'être « bien publié » pour décrocher budgets ou postes. Enfin, la cinquième et non la moindre des raisons, serait le plaisir que peut apporter à l'*ego* une publication dans un média réputé...

Le lecteur comprendra que selon la réponse, mais aussi selon la taille et les habitudes de la communauté scientifique concernée, les outils et les méthodes utilisés ne seront pas les mêmes. En revanche, les raisons de publier restent identiques. Outre le mél et les congrès, les outils de diffusion sont aujourd'hui les serveurs de *preprints*, les serveurs d'archives ouvertes et, bien sûr, les journaux scientifiques dans le modèle économique traditionnel ou en *Open Access* (OA). Avant de traiter dans d'autres articles ces différents vecteurs de communication, revenons d'abord sur le contexte.

La tyrannie de l'Impact Factor (IF) et de l'attractivité américaine

Depuis une quinzaine d'années, la concurrence entre les journaux a entraîné une surévaluation du rôle de l'Impact Factor d'un journal dans l'évaluation d'un article et de son auteur. Malgré les critiques émises à son encontre, l'Impact Factor reste le moyen le plus simple pour évaluer une publication. Tant qu'aucune méthode alternative n'aura été mise en place et validée par tous, les journaux (OA ou pas) resteront soumis à sa tyrannie.

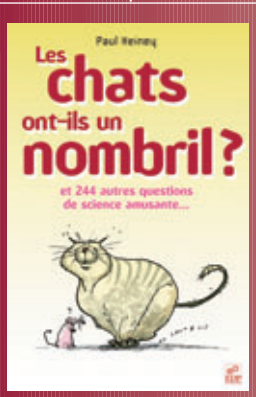
L'IF reste affecté de plusieurs biais. Établi à l'origine dans le cadre de l'environnement de recherche américain et exploité par l'*Institute for Scientific Information* (ISI), une société commerciale du groupe *Thomson Publishing*, son mode de calcul est très contraignant : l'échelle de temps choisie pour le comptage des citations est de 2 ans. Si une citation est faite la 3e année, elle ne compte pas dans l'IF. C'est ce qui explique que les domaines dans lesquels la durée de vie des articles est très longue ont un faible IF (mathématiques, p. e.). Il est aussi possible de publier des articles très novateurs qui ne vont être découverts que plusieurs années après et ce, sans le moindre impact pour la revue... C'est aussi une manière de reproduire le mode de pensée américain qui privilégie le court terme. Ensuite, si un chercheur préfère citer un article de revue synthétisant plusieurs articles, lesdits articles ne seront plus cités individuellement et l'IF des revues concernées n'en profitera pas (ni leurs auteurs !). De plus, l'IF est en partie manipulable. Certains vont établir des bibliographies honnêtes (voire trop honnêtes en ne citant pas leurs propres travaux ou le journal dans lequel ils publient), quand d'autres vont privilégier certains groupes de chercheurs ou de journaux, parfois encouragés par les éditeurs de ces revues. Il a été montré qu'en général, un article d'origine européenne n'est pas plus lu ou cité quand il est publié dans une revue américaine que dans une revue internationale basée en Europe (nous excluons de cette remarque des revues hors concours telles que *Science* ou *Nature*).

Je pense que l'Europe creuse sa propre tombe éditoriale en privilégiant systématiquement les articles publiés dans les revues américaines ou anglo-saxonnes. Comment convaincre les Comités d'Évaluation que d'excellents articles sont publiés dans d'excellentes revues européennes (en langue anglaise et en langues nationales) ? À titre d'exemple, EDP Sciences publie 46 journaux scientifiques, dont 32 sont rédigés en anglais et donc lisibles dans le monde entier. Ces journaux publient des auteurs provenant de plus de 80 pays. Deux de ces revues ont un facteur d'impact supérieur à 3, certaines vont jusqu'à être classées numéro 2 dans leur catégorie ISI. L'excellence en publication peut donc aussi trouver sa source en Europe. Pourquoi, alors, devrions-nous encore attendre de recevoir l'onction américaine alors qu'une vraie concurrence existe pour le devenir de nos sociétés ? N'oublions pas que les universités US ont également accès à tous les contenus européens et peuvent les lire, pourvu qu'ils soient rédigés en anglais. Malgré cela, notre époque reste toujours extrêmement influencée, voire dominée, par l'édition anglo-saxonne, malgré une production scientifique qui n'a rien à envier à celle d'outre-Atlantique. De nombreux scientifiques pensent qu'entrer dans le système américain pour espérer s'y faire adouber reste la meilleure stratégie. Mais est-ce la bonne ? Est-ce la seule ?

À suivre…

Jean-Marc Quilbé
Directeur général d'EDP Sciences

ACTUALITÉ ÉDITORIALE
La science à la portée de tous



Les chats ont-ils un nombril ?
et 244 autres questions de science amusante...

Paul Heiney
Traduit par Caroline Lepage, adapté par Jean Fontanieu et illustré par Al Coutelis.
Avril 2008, 222 pages, 16 €.

Articles publiés dans *Reflets de la physique* en 2006 et 2007 (n°1 à n°7)

▸ Intitulé de l'article — Auteur, *N° Reflets de la physique*, page

Éditoriaux

- La SFP et les « jeunes » physiciens et physiciennes — Maynard R., *1*, p. 2
- La SFP : de l'érudition à la citoyenneté — Maynard R., *2*, p. 2
- Pour une Société Française de Physique influente et ouverte — Leduc M., *3*, p. 2
- Un congrès Nord-Sud à Oujda sur la recherche et l'enseignement de la physique — Leduc M., Malek F., Maynard R., *4*, p. 2
- Hommage à Pierre-Gilles de Gennes — Leduc M., *5*, p. 2
- Congrès général SFP à Grenoble : haut niveau et ouverture — Leduc M., *6*, p. 2
- L'enseignement supérieur français va changer en profondeur. La SFP fait état de ses réflexions et propose son expertise. — Leduc M., *7*, p. 2

Sciences

- Cisaillement gravitationnel et sondage de l'Univers — Mellier Y., *1*, p. 5
- Téramobile : un laser femtoseconde pour étudier l'atmosphère — Méjean G., Kasparian J., Wolf J.P., *1*, p. 10
- La rupture du verre au travers d'un microscope — Bonamy D., Bouchaud E., *2*, p. 5
- À l'écoute des étoiles — Lambert P., *2*, p. 9
- Une aventure transdisciplinaire à l'interface de la physique et de la biologie : le laboratoire Joliot-Curie de l'ENS de Lyon — Arneodo A., *2*, p. 14
- Craquelures dans les couches picturales des peintures d'art — Pauchard L., Lazarus V., Abou B., Sekimoto K., Aitken G., Lahanier C., *3*, p. 5
- Aux frontières des plasmas : les plasmas ultra-froids — Comparat D., Chotia A., Viteau M., Vogt T., Pillet P., *3*, p. 10
- L'expérience VKS2 – Observation d'une dynamo turbulente et des renversements erratiques du champ magnétique — Collaboration VKS : CEA - ENS Lyon - ENS Paris - CNRS, *3*, p. 14
- Un voyage au cœur des matériaux à l'échelle atomique — Menand A., Blavette D., *4*, p. 5
- L'optique quantique atomique – Après les bosons, les fermions. — Aspect A., Boiron D., Westbrook C., *4*, p. 10
- Pointes liquides — Lorenceau E., Reyssat E., Restagno F., Quéré D., *4*, p. 15
- Les gouttes marcheuses – Une forme de dualité onde-particule à échelle macroscopique ? — Couder Y., Boudaoud A., Protière S., Fort E., *5*, p. 20
- La simulation numérique révèle le passé tourmenté des galaxies — Bournaud F., *6*, p. 5
- Un exemple d'étude rhéophysique : l'électrorotation appliquée au contrôle de la viscosité d'une suspension — Lemaire E., Lobry L., Panacci N., Peters F., *6*, p. 9
- Microfluidique pour la physique : quelques pistes — Ajdari A., *7*, p. 5
- Interactions à longue portée et systèmes non extensifs — Villain J., *7*, p. 10

Dossier photovoltaïque

- L'électricité solaire photovoltaïque : présent et futur — Equer B., *5*, p. 5
- Le spectre solaire. L'absorption de l'énergie lumineuse — Martinuzzi S., *5*, p. 7
- Les cellules solaires au silicium cristallin — Martinuzzi S., *5*, p. 8
- La métallurgie du silicium solaire — Trassy C., *5*, p. 13
- Cellules solaires en couches minces à base de $CuInSe_2$ — Lincot D., Guillemoles J.F., *5*, p. 16
- Cellules solaires en couches minces à base de silicium — Bourée J.E., Roca i Cabarrocas P., *6*, p. 12
- Les cellules photovoltaïques organiques — Destruel P., Seguy I., *6*, p. 16
- Demain, le Photovoltaïque : les révolutions anticipées sur les filières et les concepts — Guillemoles J.F., *6*, p. 19
- Conversion photovoltaïque de l'énergie solaire concentrée — Dollet A., *6*, p. 23
- La vision du CEA en matière d'électricité solaire photovoltaïque — Malbranche P., *6*, p. 24
- Une plate-forme technologique CNRS : Process-PV à Strasbourg — Müller J.C., *6*, p. 25
- Le programme de recherche photovoltaïque de l'ANR et de l'ADEME — Claverie A., Couffin P., *6*, p. 26

Histoire des sciences et biographies

- Paul Langevin (1872-1946) – De la butte Montmartre au Panthéon : parcours d'un physicien d'exception — Bok J., Kounelis C., *1*, p. 14
- Quelques anniversaires : Benjamin Franklin, la Marquise du Châtelet, James Clerk Maxwell — Boudenot J.C., *2*, p. 17
- 1906-2006 : le centenaire de la « lyophilisation » — Guillien B., *2*, p. 18
- 1950-1960 : Âge d'or des laboratoires ? La physique à l'École normale supérieure — Baruch P., *3*, p. 17
- Bruno Touschek : un Européen pour qui la physique est un art — Mussardo G., *5*, p. 25
- Le cinquantenaire de la théorie BCS de la supraconductivité — Nozières P., *7*, p. 14
- Augustin Fresnel (1788-1827) — Boudenot J.C., *7*, p. 17

Politique de la recherche

- La politique actuelle et future de la recherche en France, vue par des physiciens – Débat — Partie I, *1*, p. 24; Partie II, *2*, p. 24
- L'ERC (European Research Council) – Une chance et un défi pour les chercheurs et les organismes de recherche — Estève D., *3*, p. 21

Enseignement, emploi, vulgarisation scientifique

- Chercheurs et vulgarisation — Mashaal M., *1*, p. 17
- Physique des plasmas : fédération pour une nouvelle spécialité de master « Sciences de la fusion » — Beyer P., Bonnaud G., Jacquinot J., *1*, p. 21
- Heurs et malheurs des docteurs en recherche d'emploi — Hermann J.P., *2*, p. 19
- La formation et le devenir des doctorants en physique — Carles R., *4*, p. 19
  - Bilan d'un questionnaire à l'attention des doctorants
  - Débat — *4*, p. 22
- Enseignement de la physique à l'université et didactique : témoignage — Torchet G., *7*, p. 19

Des dangers de l'amiante

L'article de R. Maynard (*Reflets* n°6, p. 27, octobre 2007) expose les problèmes éthiques liés aux nanotechnologies, et il est heureux que la SFP ait fait le point sur cette question très importante. Je regrette cependant que cet article ne cite aucun exemple concret de risque sanitaire, ce qui pourrait laisser croire que ces risques sont hypothétiques. L'amiante fournit un exemple dramatique de maladies émanant d'une structure nanométrique.

Les diverses formes d'amiante sont des silicates de formules chimiques variées, dont les composants sont dépourvus de toxicité chimique(1) : c'est la structure en fibres de diamètre submicronique qui rend l'amiante responsable de divers cancers. Ce caractère cancérigène a été reconnu par le Centre international de recherche sur le cancer en 1973, mais il a fallu attendre 1996 pour arriver à une interdiction totale de l'amiante en France(2) : la lenteur pour transformer cette prise de conscience en des dispositions légales s'explique probablement par l'influence de lobbys industriels.

En plus d'une illustration des risques sanitaires des nano-objets, l'exemple de l'amiante nous avertit : la gestion de ces risques est difficile et comporte divers aspects extra-scientifiques. Enfin, les risques sanitaires des nano-objets me semblent être d'une très grande complexité : extrême variété des nano-objets accessibles, légèreté des équipements nécessaires à leur production, difficulté de mesurer les dangers sanitaires associés à chacune de ces variétés, et coût de ces études.

Jacques Vigué
Membre de la SFP

Nous avons jugé que la lettre ci-contre était un complément utile à l'article de Roger Maynard, « Éthique des nanos... ou nanoéthique ? » paru dans le numéro 6 de *Reflets de la physique*.
La rédaction

(1) Voir l'article "asbestos" de Wikipedia.
(2) Voir le dossier amiante sur le site de l'Institut National de Recherche et de Sécurité : www.inrs.fr/htm/amiante_l_essentiel.html

Science et éthique, femmes et sciences

- La science et la guerre – La responsabilité des scientifiques — Iagolnitzer D., Koch-Miramond L., Rivasseau V., *2*, p. 21
- Le projet Athena — Fox C., Higgins J., *4*, p. 25
- Éthique des nanos... ou nanoéthique ? — Maynard R., *6*, p. 27

Portraits

- Salima Rafaï – Regard sur le parcours européen d'une physicienne passionnée — Parasote V. (interview), *1*, p. 27
- Albert Fert – Un grand physicien qui honore notre discipline et la recherche française dans le monde — Bartholin H., *3*, p. 26
- Suzel Lavagne – De la physique aux métiers de l'ingénieur — *4*, p. 21
- Alexis Amadon – De l'infiniment petit à l'infiniment grand, pour arriver à l'infiniment complexe... — *5*, p. 31

Congrès, expositions

- Un projet de congrès sur l'enseignement et la recherche en physique : Oujda 2007 — Malek F., *1*, p. 19
- Physique atomique, moléculaire et optique : le 4e colloque national — Honvault P., Vedel F., *2*, p. 23
- La SFP à Mesurexpo 2006 — Mialocq J.C., Mouton B., Lemaître V., *3*, p. 25
- Physique des champs et particules : une journée sur « Le futur de la physique des saveurs » — Chauveau J., Stocchi A., *5*, p. 30
- Physique de la matière condensée : des JMC10 (Toulouse, 2006) aux JMC11 (Strasbourg, 2008) — Loiseau A., George A., *6*, p. 31
- Le congrès général de Grenoble 2007 — Aspect A., Wolf P.E., *7*, p. 23

Livres : notes de lecture

- *L'enfant et la science*, par G. Charpak *et al.* — Fontes P., *1*, p. 30
- *Physique et biologie*, par B. Jacrot. — Teixeira J., *2*, p. 28
- *Equilibrium and non-equilibrium statistical thermodynamics*, par M. Le Bellac, — Derrida B., *2*, p. 28
- *Les joints de grains, de la théorie à l'ingénierie*, par L. Priester. — Hardouin Duparc O., *3*, p. 29
- *- H. Poincaré (1854-1912) – Physicien*, par J.J. Samueli et J.C. Boudenot.
  - L'héritage scientifique de Poincaré, par E. Charpentier *et al.*
  - H.A. Lorentz (1853-1928) – La naissance de la physique moderne, par J.J. Samueli et J.C. Boudenot.
  - Comment Einstein a changé le monde, par J.C. Boudenot. — Vannimenus J., *3*, p. 28
- *De l'importance d'être une constante*, par J.P. Uzan et B. Leclercq. — Soulié E., *3*, p. 29
- *Statistical Mechanics : Algorithms and Computations*, par W. Krauth — Barrat J.L., *4*, p. 29
- *Coherent sources of XUV radiation*, par P. Jaegle. — Suckewer S., *4*, p. 30
- *La pomme et l'atome*, par S. Balibar. — Leduc M., *5*, p. 32
- *Lumière Matière*, par S. Martrenchard-Barra, — Soulié E., *5*, p. 32
- *Histoire de la radioactivité*, par R. Bimbot, — Korichi A., *5*, p. 33
- *L'énergie en 21 questions*, par P. Bacher. — Balian R., *6*, p. 34
- *Comment peut-on être chercheur(e)*, par F. Malka et L. Koch-Miramond. — Hennion M., *6*, p. 35
- *Histoire de l'atome – De l'intuition à la réalité*, par P. Radvanyi. — Guyon E., *7*, p. 30
- *Origines. La nostalgie des commencements*, par Trinh Xuan Thuan. — Teixeira J., *7*, p. 30
- *L'âge d'or des sciences arabes*, par A. Djebbar. — Treglia G., *7*, p. 31

« Physique quantique » (2e édition)

Michel Le Bellac (CNRS Éditions/EDP Sciences, 2007, 768 p., 49 €)

Michel Le Bellac propose la seconde édition, considérablement révisée et augmentée, de sa *Physique quantique*.

Ce manuel est remarquable, tout d'abord, par son approche. Plutôt que de débuter par la « fonction d'onde », qui peut, par les analogies avec l'optique, donner une impression fallacieuse de facilité et de déjà-vu, M. Le Bellac consacre les six premiers chapitres aux systèmes de dimension finie. Il peut très vite plonger le lecteur dans les merveilles et les difficultés conceptuelles du monde quantique : théorie de la mesure, intrication et non-localité (avec une discussion lumineuse du paradoxe EPR et des inégalités de Bell). S'il ne néglige pas les points de repère historiques, il aborde des thèmes d'une grande actualité scientifique, comme la décohérence et l'information quantique. Quel étudiant pourrait rester insensible à la téléportation ? Il donne ainsi de la physique quantique fondamentale l'image d'une science en pleine vie, toujours en train de se construire près d'un siècle après sa fondation.

Cet ouvrage fait aussi une large part aux relations entre symétries et mécanique quantique, trop souvent négligées. Tout le chapitre 8 leur est consacré. Elles sont utilisées ensuite pour introduire rigoureusement impulsion, moment cinétique...

Le livre de M. Le Bellac sera utile à tous les niveaux. C'est un excellent manuel pour un débutant (et pour son enseignant, qui y trouvera de nombreuses idées d'illustrations modernes, empruntées à des domaines variés). Il est aussi indispensable pour un étudiant plus avancé, niveau Master, qui pourra approfondir ses connaissances. Les problèmes présentent des sujets de réflexion très intéressants ; le chapitre 17 est un exposé remarquable sur les systèmes ouverts. C'est enfin un livre de référence pour les chercheurs et les enseignants. Je l'utilise moi-même très régulièrement et j'y ai puisé l'essentiel d'un cours d'introduction à la physique quantique. J'ai ainsi pu apprécier pleinement la pertinence de l'approche proposée par ce manuel, justement distingué par l'Académie des sciences. Il deviendra sûrement, dans sa version française et dans sa remarquable traduction anglaise, un ouvrage de référence.

Jean-Michel Raimond
Laboratoire Kastler Brossel, École Normale Supérieure, Paris

« Énergie 2007-2050, les choix et les pièges »

Rapport à l'Académie des sciences d'un groupe de travail coordonné par Bernard Tissot (2007).

Texte intégral : www.academie-sciences.fr/publications/rapports/pdf/rapport_energie_07_07.pdf

Après le rapport « Perspectives énergétiques » publié en 2005[1], l'Académie des sciences revient sur le sujet à la suite des conclusions des commissions de travail du Groupe Intergouvernemental d'Étude du Climat (G.I.E.C.), rendues publiques en 2007. À l'opposé d'opinions contraires exprimées parfois avec fracas par certains de ses membres, l'Académie prend acte de l'influence humaine sur l'élévation des concentrations de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique qui en résulte. Elle en fait le défi principal auquel est confrontée la société du XXIe siècle. Ce constat s'accompagne d'un jugement nuancé sur le pouvoir prédictif des modèles climatiques, assorti d'une incitation à soutenir vigoureusement les recherches sur le climat.

Le nouveau rapport est, pour l'essentiel, consacré à l'examen critique des principales options énergétiques, de plusieurs points de vue : potentiel de chacune, recherches nécessaires, avantages et inconvénients, adaptation à la demande. L'évolution de celle-ci et le jeu des principaux acteurs, pays producteurs, pays consommateurs, industriels et consommateurs individuels, sont évidemment difficiles à anticiper. Les incertitudes sont nombreuses et de grande ampleur. Compte tenu de l'accroissement de la population et du développement de pays émergents, la demande devrait doubler au cours des 50 prochaines années. Laisser faire sur la lancée d'aujourd'hui n'est pas soutenable, car cela conduirait à une augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère telle que le climat pourrait subir un réchauffement irréversible.

Pour limiter les concentrations de gaz à effet de serre avant de penser à les réduire, il convient selon l'Académie d'attaquer sur tous les fronts, et l'entreprise ne sera efficace que si toutes les nations s'y mettent. De nombreuses pistes sont examinées, des économies d'énergie à l'électronucléaire de quatrième génération. Le charbon fait l'objet d'une attention particulière. La perspective d'une

pénurie annoncée de pétrole et de gaz, incite à remplacer ces combustibles par du charbon dans les centrales électriques. Ce mouvement, déjà bien amorcé, ne peut que contribuer à augmenter les concentrations de gaz à effet de serre, sauf mise en place systématique de la capture et du stockage du CO_2. Pour beaucoup, les technologies correspondantes sont acquises, ce que l'Académie conteste étant donnée l'échelle planétaire du problème : des dizaines de milliards de tonnes chaque année à enfouir pour des siècles. Ici se situe un piège : la durée de vie des centrales est de l'ordre du demi-siècle. Si les États laissaient construire une multitude de grandes centrales thermiques à flamme dépourvues de rétention des émissions, l'avenir climatique serait gravement compromis.

D'importants développements sont consacrés aux énergies renouvelables. À propos de la biomasse, l'Académie insiste sur la déforestation : « le plus grand apport de la biomasse, dans la lutte contre le changement climatique, existe et nous le détruisons : il s'agit de la forêt primaire qui joue un rôle capital dans les échanges de CO_2 entre l'atmosphère, la végétation et les sols. » L'éolien et le solaire photovoltaïque, sources encore marginales pour la production d'électricité, sont destinés à le rester, à moins qu'une percée (des ordres de grandeur gagnés) survienne pour le stockage de l'électricité. Sur ce dernier problème à l'évidence, les recherches doivent être intensifiées.

Le propos est universel. Mais des sujets concernent plus particulièrement l'Europe et la France. Ainsi, sur l'électronucléaire, construire les réacteurs de génération III (E.P.R.) puis IV (les futurs surgénérateurs) est pour l'Académie « une nécessité impérieuse ». Nul doute qu'avec une telle prise de position, les rédacteurs du rapport se verront accusés d'être instrumentalisés par le « lobby nucléaire ».

Il est vrai que sur les questions d'énergie, la science et la technique ne sont pas seules concernées. Le rapport de l'Académie est établi sur les connaissances scientifiques du moment et l'état de l'art en matière de technologies de l'énergie. L'argumentation, rationnelle, risque d'être de peu de poids face aux certitudes de l'idéologie et de l'ignorance. Les auteurs en sont bien conscients. Favoriser la recherche pertinente est indispensable. Cela suppose un effort de formation, qu'il conviendrait d'étendre à ceux qui auront à traiter à tous les niveaux des problèmes que rencontre la société.

Les pièges sont aussi dans la politique et l'économie. Est-il raisonnable lors des décisions d'investissement de ne pas tenir compte du prix du carbone émis ? Les calculs économiques sont-ils crédibles lorsqu'ils sont relatifs à un marché où le prix du baril évoluerait de $ 25 à $ 60 d'ici à 2050 ?

La tentation de généraliser des énergies « propres » au sens des écologistes, donc rares et chères, ne risquerait-elle pas de faire disparaître d'Europe la grande industrie avec un fort contenu énergétique, conséquence agrémentée de délocalisations sans contrôle, autre piège, des émissions indésirables ?

Le rapport de l'Académie contient beaucoup plus que ces brefs aperçus. Il est rédigé avec une retenue toute institutionnelle. Mais les conclusions, étayées par des arguments de bon sens, sont fermement énoncées et des questions parfois dérangeantes sont posées. À lire !

Jean-Louis Bobin
Commission Énergie et environnement de la SFP

« Les conclusions de ce rapport, étayées par des arguments de bon sens, sont fermement énoncées et des questions parfois dérangeantes sont posées. À lire ! »

(1) www.academie-sciences.fr/actualites/textes/energie_01_03_05.pdf

Découverte, passionnément.

La revue mensuelle *Découverte* du Palais de la découverte fait peau neuve après près de 30 ans d'existence. Élaborée dans l'esprit qui anime le Palais, elle propose une démarche active qui vise à se rapprocher de celle des chercheurs, avec leurs questionnements, leurs doutes et leur passion de la découverte. Plus variée, plus illustrée et aérée et dans un langage encore plus accessible que par le passé, cette revue a de quoi alimenter votre curiosité. Elle vous propose, en liaison avec les expositions du Palais, des articles de fond dans les secteurs : *Terre & Univers, Matière & Énergie, Mathématiques,* et *Vivant/santé & environnement*. Ouverte aux problèmes de *Science en société*, la revue vous aide à formuler des questions essentielles et à analyser, en évitant tout dogmatisme, les différents points de vue qu'elles suscitent.
Et puis vous pénétrerez avec elle dans les *Coulisses du Palais*... à travers sa vie et ses animations.

Pour découvrir le premier numéro :
www.palais-decouverte.fr/fileadmin/fichiers/infos_sciences/revue/textes/nouvelle_revue.pdf

SERI

SALON EUROPÉEN DE LA RECHERCHE & DE L'INNOVATION

4e ÉDITION / PARIS EXPO / PORTE DE VERSAILLES / FRANCE

DÉVELOPPEMENT DURABLE • ÉNERGIE • ENVIRONNEMENT • ÉDITION 2008

5 >7 JUIN 2008 - 9H30 >19H00 - HALL 5

INVITATION

L'événement R&D-R&I unique en Europe

Organisé par Fondamental Expo

Finlande, invité d'honneur

Inscrivez-vous sur www.salon-de-la-recherche.com
pour bénéficier d'une entrée gratuite au SERI. Connectez-vous à la billetterie visiteur en précisant le code INVBG1

European Commission Directorate-General for Research
SÉNAT
CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
SAINT-GOBAIN
SIEMENS
VEOLIA ENVIRONNEMENT
EuroNews
radioclassique
La Recherche L'ACTUALITÉ DES SCIENCES
Les Echos
Le Point