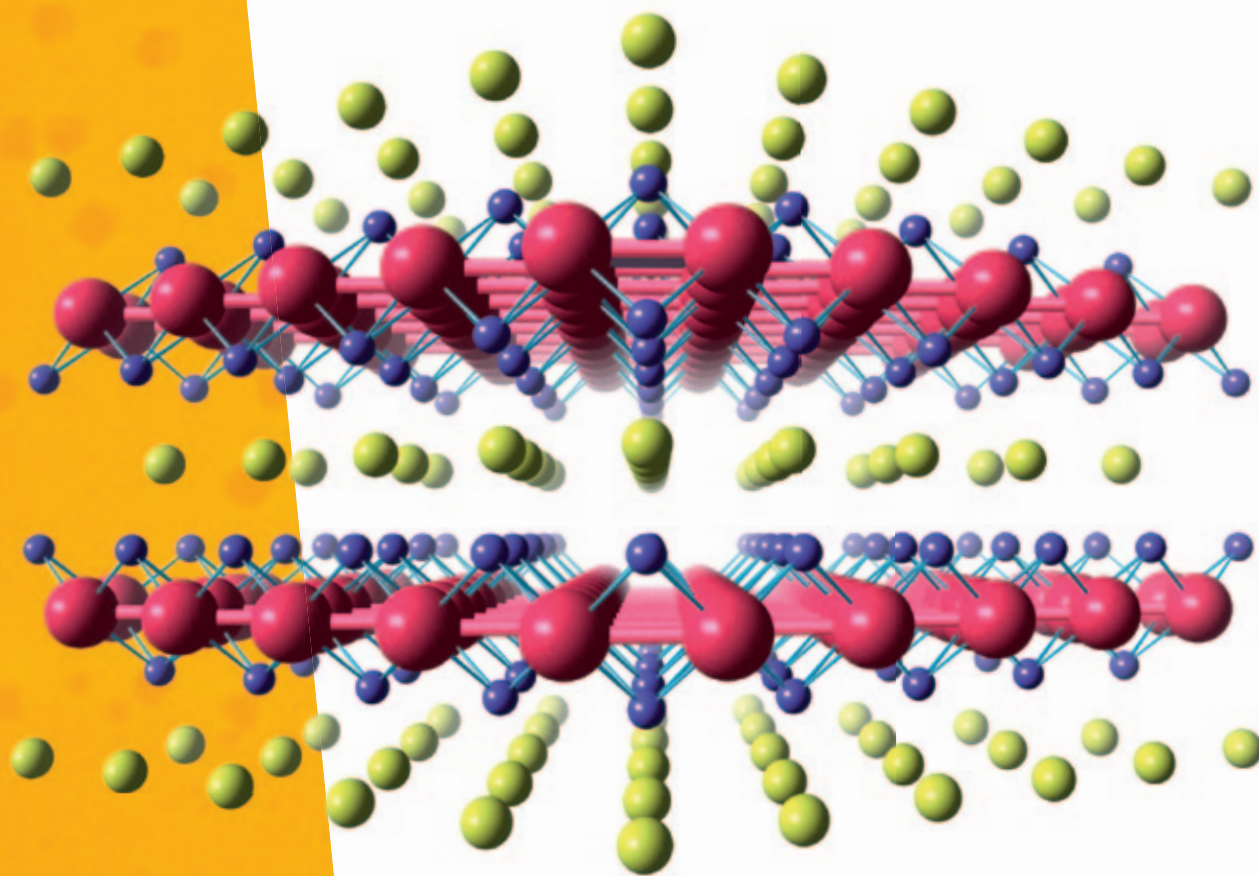


Dossier Supraconductivité

► Les supraconducteurs à haute température critique



Avancées de la recherche

- Découverte du boson de Higgs au LHC ?
- Problèmes inverses en physique

Science et société

- Une journée « Science et Médias »



Les Assises de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Au cours de la campagne présidentielle, François Hollande avait proposé l'idée de tenir des Assises de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (ESR). Elles seront le nouveau grand rendez-vous de la communauté ESR et de la société, dans la lignée des colloques de 1982 et 1956. Geneviève Fioraso, ministre en charge de ce secteur, en a récemment indiqué les axes principaux ainsi que l'agenda [1].

Ouvertes aux forces vives de la nation, les Assises devraient revoir les objectifs du système ESR, son lien avec la société, son organisation et ses moyens. Le concept d'Assises par région – préalablement à la synthèse nationale – nous paraît à soutenir. Le projet de loi qui en découlerait, redéfinissant les missions de l'ESR, nous paraît également opportun pour que les Assises soient suivies d'effets.

Comme l'intitulé des Assises l'indique, il s'agit bien de considérer le « système ESR » dans son ensemble : pas de formation supérieure sans recherche, et réciproquement. Les Assises devront donc le revisiter, dans une vision à long terme, tout en partant de l'existant.

Quelles sont les finalités de l'ESR ?

C'est d'abord un système qui possède sa dynamique propre, le progrès de la compréhension de l'homme dans toutes ses dimensions ainsi que de son univers, et où la recherche nourrit l'enseignement. Par définition, c'est un lieu « subversif », de remise en cause des idées reçues au profit de nouvelles « lumières », un vecteur d'évolution et d'adaptation pour tous.

Il en découle qu'il s'agit d'un système « ouvert » en interaction avec différents territoires, depuis le pôle métropolitain dans lequel il est ancré jusqu'à la planète entière. Il s'inscrit aussi dans le temps présent, s'appuyant sur le passé et préparant l'avenir. L'apport de la science à la recherche de solutions, quant à la rareté des ressources terrestres et à la crise environnementale de la planète, est indispensable. L'ESR est ainsi au cœur de la société et se doit de contribuer à résoudre les défis d'aujourd'hui : dans le contexte de crise actuel, c'est un secteur essentiel pour le développement culturel du pays, comme pour sa compétitivité et sa cohésion sociale. Les Assises seront l'occasion de mettre en lumière la capacité d'évolution de l'ESR en matière de formation, de recherche et d'effet d'entraînement pour la société. En effet, pour une meilleure adaptation de notre pays au monde contemporain, l'élévation du niveau culturel général des citoyens, y compris en matière scientifique, technique et d'innovation, est indispensable.

Qui devrait participer aux Assises ?

Les Assises seront un temps fort de rencontre entre ESR et société. La communauté scientifique et universitaire, dont les sociétés savantes, devra être bien représentée. Malmenée depuis quelques temps, elle exprime aujourd'hui clairement sa volonté : être mieux associée à son avenir et s'ouvrir à la demande sociétale.

D'autre part, y participeront les représentants du monde économique et industriel – dont l'implication forte est aujourd'hui plus que jamais un impératif – mais aussi des institutions comme l'Institut de France, des représentants du monde associatif et culturel, ainsi que des personnalités qualifiées, des responsables politiques et des conseils économiques, sociaux et environnementaux, etc. Il est important que notre communauté de physiciens joue pleinement son rôle dans l'événement majeur que constituent les Assises ESR.

Quelles sont les questions à traiter ?

Une bonne partie d'entre elles sont discutées dans notre lettre aux candidats à l'élection présidentielle (cf. éditorial de *Reflets* n°29). Elles concernent les points suivants : complexité du système de recherche, financement de cette recherche, carrière des chercheurs, autonomie des universités, création d'emplois, importance de la culture scientifique, impact sociétal, économie de la connaissance. Un débat essentiel devrait concerner la place de la science et de la technologie dans notre société.

Pour terminer, nous souhaitons vivement que beaucoup d'entre vous s'impliquent fortement dans ces Assises, en espérant que celles-ci soient organisées de manière efficace avec la volonté d'aboutir à des recommandations suivies d'effet.

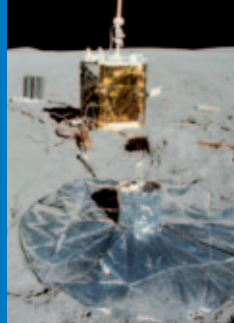
Michel Lannoo^(a) et Michel Belakhovsky^(b)

(a) Président de la Société Française de Physique

(b) Membre du Comité de rédaction de *Reflets de la physique*, ancien physicien CEA et ESRF

[1] www.enseignement-sup-recherche.gouv.fr/pid26700/assises-de-l-enseignement-superieur-et-de-la-recherche.html

© MSA



▶ p. 13

© Collaboration Double Chooz



▶ p. 21



▶ p. 22



▶ p. 27

© J. Behroff (IPS, Univ. Paris Sud et CNRS)



Un picture de fer supraconducteur, de formule BaFe_2As_2 (les atomes de fer sont en rouge, l'arsenic en bleu, le baryum en jaune).

Voir article p. 10.

Éditorial

- 2 Les Assises de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Michel Lannoo et Michel Belakhovsky

Dossier « supraconductivité »

- 4 Oxydes de cuivre supraconducteurs : un record et toujours un mystère
Philippe Bourges et Yvan Sidis
- 10 Les supraconducteurs à base de fer
Philippe Bourges et Yvan Sidis
- 11 Un mille-feuille de supraconducteur et de matériau magnétique

Avancées de la recherche

- 12 Des problèmes inverses en physique
Georges Jobert
- 17 Découverte du boson de Higgs au LHC ?
Lucia di Giacco et Gautier Hamel de Monchenault
- 19 Deux instruments développés par la France, embarqués par le robot Curiosity sur Mars
- 20 Quelques faits saillants de la conférence Neutrino 2012
François Vannucci
- 22 Un pendule de Foucault fluide
Jean Boisson, David Cébron, Frédéric Moisy et Pierre-Philippe Cortet
- 24 La microscopie biphotonique passe à la couleur
- 24 Contrôler la croissance et la texture d'un polycristal modèle

Science et société

- 25 Le prix Jeanne Villepreux-Power
- 26 Une journée « Science et Médias » au Palais de la découverte
Commission « Culture scientifique » de la Société Française de Physique

Au sein et autour de la SFP

- 30 Actualités
- 31 Vie de la SFP
- 32 Prix scientifiques
- 33 EDP Sciences

Reflets de la physique et ses lecteurs

- 34 Notes de lecture

Ce numéro comporte en encarts, un dépliant de la société GL events ainsi que l'appel des cotisations et abonnements 2013 de la Société Française de Physique, insérés dans l'ensemble des exemplaires.

Comité de rédaction

Président : Jean-Pierre HULIN
Membres : Patricia BASSEREAU -
Michel BELAKHOVSKY - Fabienne CASOLI -
Anne DAVAILLE - Olivier DULIEU -
Étienne GUYON - Stéphane LABROSSE -
Michèle LEDUC - Roland LEHOUCQ -
Jérôme MARGUERON - Stéphane MAZOUFFRE -
Vincent MOSSER - Charles de NOVION -
Marios PETROPOULOS - Sophie REMY -
Thierry SARRAZIN - Claude SÉBENNE -
José TEIXEIRA - Jean VANNIMENUS

Directeur de la publication :

Mohamed DAOUD
Rédacteur en chef : Charles de NOVION
Conception : Laetitia MORIN - Keith VILLEMEUR
Réalisation graphique : Laetitia MORIN@free.fr
Suivi de rédaction : Agathe CYMER
Service publicité : Jessica EKON - Tél. : 01 69 18 92 40
e-mail : publicite@edpsciences.org

Dépôt légal : 4^e trimestre 2012
ISSN : 1953-793X - e-ISSN : 2102-6777
© SFP - Édité à 3250 exemplaires

Imprimerie Jouve

11, bd de Sébastopol, 75036 Paris Cédex 01
Tél. : 01 44 76 54 40
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 : www.sfpnet.fr
SFP Bulletin, Institut Henri-Poincaré,
11, rue Pierre-et-Marie Curie, 75005 Paris
e-mail : sfp-bulletin@ihp.fr
Serveur : www.refletsdelaphysique.fr

Oxydes de cuivre supraconducteurs

Un record et toujours un mystère

Philippe Bourges (philippe.bourges@cea.fr) et Yvan Sidis (yvan.sidis@cea.fr)
Laboratoire Léon Brillouin, UMR 12 CEA-CNRS, CEA Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Alors que la supraconductivité atteint, en termes de température critique, des sommets largement supérieurs à la température d'ébullition de l'azote, le mécanisme de la supraconduction des matériaux à base d'oxydes de cuivre reste un mystère, vingt-cinq ans après leur découverte.

Leur structure bidimensionnelle et la présence de fortes corrélations électroniques sont les indices d'une supraconductivité non conventionnelle.

La clé pourrait se cacher dans la nature inattendue de l'état métallique préfigurant cette supraconductivité.

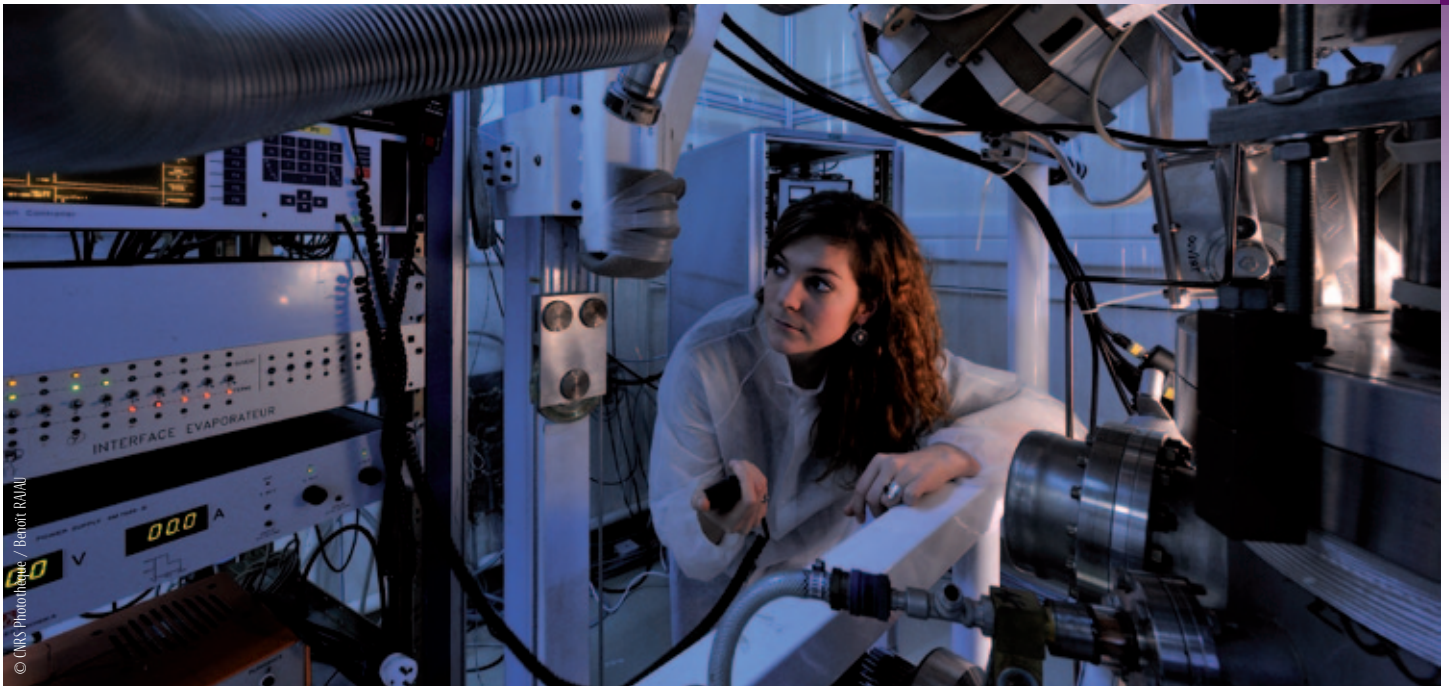
La supraconductivité à haute température critique (SHTC) des oxydes de cuivre a été découverte en 1986 dans le composé $(\text{La,Ba})_2\text{CuO}_4$. Puis, rapidement, de nombreux autres supraconducteurs de la même famille ont été trouvés (voir tableau ci-dessous et figure 1). En quelques années, on a atteint une température critique T_c de 135 K à pression atmosphérique dans le composé $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$, avec un record à 160 K en appliquant une pression d'une dizaine de GPa sur ce même système. Ces températures dépassent largement la température d'ébullition de l'azote, qui peut être obtenue industriellement, ce qui laisse ainsi présager un grand champ d'applications potentielles. On se heurte cependant à une incompréhension de l'origine de la supra-

conductivité dans ces matériaux. Il est clair que la SHTC, caractérisée par une symétrie anisotrope du *gap* supraconducteur, est non conventionnelle. Cela suggère un mécanisme plus exotique qu'un couplage des électrons avec le réseau cristallin, qui est l'origine classique de la supraconductivité [1].

Quelques propriétés des principaux cuprates supraconducteurs sont données dans le tableau. Il n'est pas possible ici de présenter un inventaire exhaustif des expériences et théories sur ces matériaux. D'autres revues [2,3] ont mis en avant des aspects différents de ceux que nous allons privilégier ici. Nous nous contenterons principalement de présenter les points qui dominent encore le débat après vingt-cinq années de recherches intenses.

Quelques propriétés des principaux cuprates supraconducteurs

Matériau	Date de découverte	T_c (K)	Type de porteurs
$(\text{La,Sr})_2\text{CuO}_4$	1986	38 (46 sous pression)	p (trous)
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	1987	92	p
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$	1988	93 (n = 2), 110 (n = 3)	p
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	1988	122	p
$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$	1993	135 (160 sous pression)	p
$(\text{Nd}_{1,85}\text{Ce}_{0,15})\text{CuO}_4$	1989	24	n (électrons)



Synthèse du supraconducteur à haute température critique $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ en couches minces dans un évaporateur multisource.

Une structure bidimensionnelle : le plan CuO_2

Les oxydes de cuivre supraconducteurs à haute température critique possèdent tous une structure cristalline lamellaire, caractérisée par un empilement dans la direction c d'un ou plusieurs plans CuO_2 (fig. 1). Ces plans peuvent être représentés comme pavés de plaquettes carrées, avec un ion Cu^{2+} sur chaque coin et un ion O^{2-} au milieu de chaque côté (fig. 2). La plaquette CuO_2 est la brique élémentaire de ces systèmes, on pense qu'elle définit toutes les propriétés remarquables des SHTC. La forte hybridation des orbitales $3d_{x^2-y^2}$ du cuivre et $2p_\sigma$ des oxygènes (fig. 2) joue un rôle important au niveau de la structure

électronique et ouvre la possibilité d'une physique originale. À cela s'ajoutent de très fortes répulsions coulombiennes entre électrons $3d$ [3].

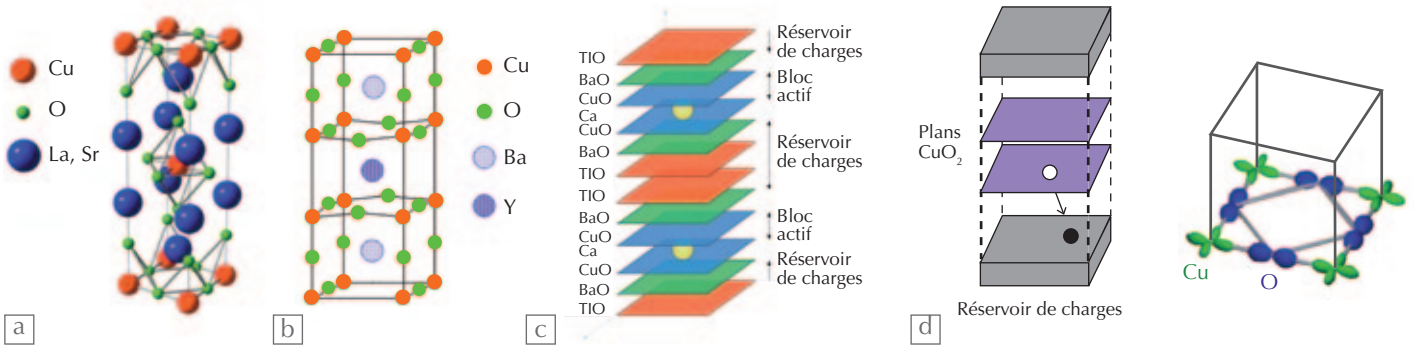
Un diagramme de phase complexe

Les plans CuO_2 sont séparés par d'autres couches atomiques jouant le rôle de réservoirs de charges. Lorsque l'on procède à une substitution cationique (remplacement d'atomes de lanthane par du strontium dans La_2CuO_4 , par exemple) ou à une augmentation de la teneur en oxygène (dans $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$, par exemple), des électrons sont transférés des plans CuO_2 vers les plans réservoirs (fig. 1d). On crée ainsi des lacunes électroniques dans les plans CuO_2 :

on parle de dopage en *trous*. Bien qu'il soit également possible d'effectuer un dopage en électrons, les composés dopés en trous ont été les plus étudiés. Ils présentent les plus hautes températures critiques, ainsi qu'un diagramme de phase complexe (fig. 3) dont la phase supraconductrice n'est pas nécessairement la plus originale.

À dopage nul, un seul électron est présent sur l'orbitale $3d_{x^2-y^2}$ de l'ion Cu^{2+} (configuration $3d^9$). La répulsion coulombienne est si forte qu'il lui est interdit de se déplacer sur un site de cuivre voisin. Le matériau est donc isolant. Les électrons peuvent toutefois réaliser des excursions virtuelles sur les sites voisins, ce qui engendre une très forte interaction d'échange antiferromagnétique, $J \sim 1500$ K, entre les *spins* des

>>>

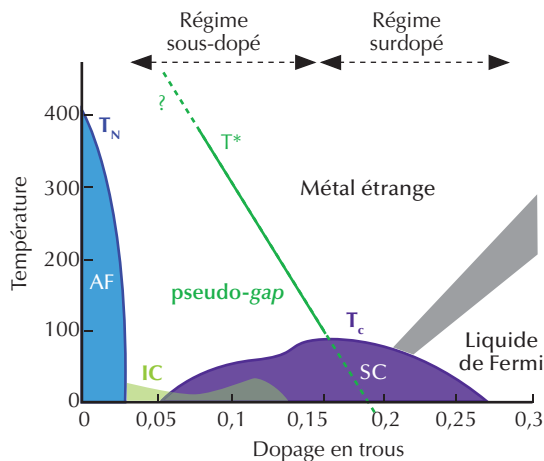


1. Structure cristalline de quelques cuprates supraconducteurs.

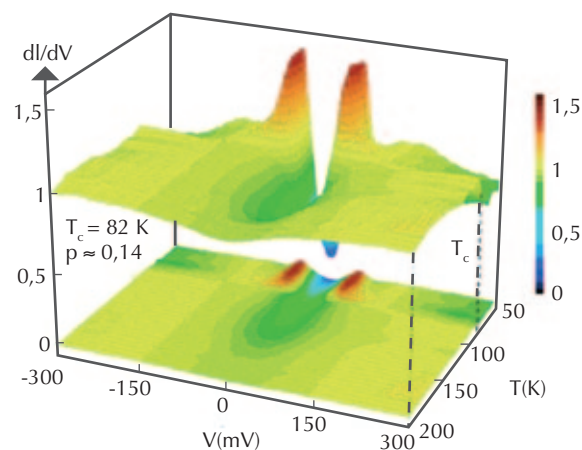
- (a) $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$, empilement de plans CuO_2 -(La,Sr)O-(La,Sr)O- CuO_2 -(La,Sr)O-(La,Sr)O...
- (b) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$, empilement de plans CuO_x -BaO- CuO_2 -Y- CuO_2 -BaO... Les plans CuO_x sont les réservoirs de charge. La figure représente le cas $x = 1$.
- (c) $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$. Les composés au thallium et au bismuth appartiennent à la même famille.
- (d) Structure schématique : le dopage s'effectue par un transfert de charges entre les plans CuO_2 et les autres plans constituant le reste de la structure.

2. Hybridation des orbitales

$3d_{x^2-y^2}$ du cuivre (en vert) et $2p_\sigma$ de l'oxygène (en bleu) dans une plaquette CuO_2 .



3. Diagramme de phase schématique des cuprates supraconducteurs dopés en trous (voir texte pour une description des différents régimes). On distingue habituellement deux régimes de part et d'autre du dopage optimal : le régime surdopé pour lequel T_c diminue avec le dopage, et le régime sous-dopé où T_c augmente avec le dopage. AF : phase antiferromagnétique ; SC : phase supraconductrice ; IC : phase magnétique incommensurable (onde de densité de spin).



4. Densité d'états électroniques du composé supraconducteur $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{SrCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ($T_c = 82 \text{ K}$), en fonction de l'énergie et de la température, obtenue à partir de mesures d'effet tunnel sur une jonction supra/isolant/supra. En dessous de T_c , on observe une densité d'états avec un *gap* et des pics de cohérence, caractéristique de l'état BCS (voir dans la ref. [1], p. 10, la figure c de l'encadré 2). On observe également une perte de densité d'états au niveau de Fermi ($V = 0$) pour $T_c < T < T^*$ dans l'état normal (mais sans pics de cohérence) : ceci traduit l'ouverture du *pseudo-gap* [adapté de R.M. Distasul et al., *J. Phys. Soc. Japan* **71** (2002) 1535].

>>>

ions cuivre. En dessous d'une température de Néel $T_N \sim 400 \text{ K}$, le système développe un état antiferromagnétique (AF, figs. 3 et 6a).

Au fur et à mesure que les plans CuO_2 sont dopés en trous, les électrons peuvent se mouvoir davantage. L'ordre antiferromagnétique à longue portée est rapidement détruit : pour un taux de dopage en trous de 3% par atome de cuivre, l'ordre a totalement disparu (fig. 3). Au-delà de 5% de trous/Cu, le système devient métallique et supraconducteur.

On distingue deux régimes, caractérisés principalement par les propriétés de l'état métallique au-dessus de T_c . À faible dopage (régime *sous-dopé* dans la figure 3), les matériaux se comportent comme de très mauvais métaux, dont les propriétés électroniques ne correspondent pas à celles observées dans les métaux ordinaires, décrits par la théorie de Landau des « liquides de Fermi ». À fort dopage, dans le régime *surdopé*, un comportement métallique plus conforme à celui prédit par cette théorie est progressivement restauré. Les propriétés exotiques des oxydes de cuivre supraconducteurs se développent donc entre deux limites, celle d'un cristal d'électrons dopé (isolant AF) et celle d'un liquide d'électrons (liquide de Fermi). Entre les deux, un régime dit de « métal étrange » s'établit, caractérisé par une résistivité croissant linéairement avec la température sur une très large gamme.

Une supraconductivité anisotrope

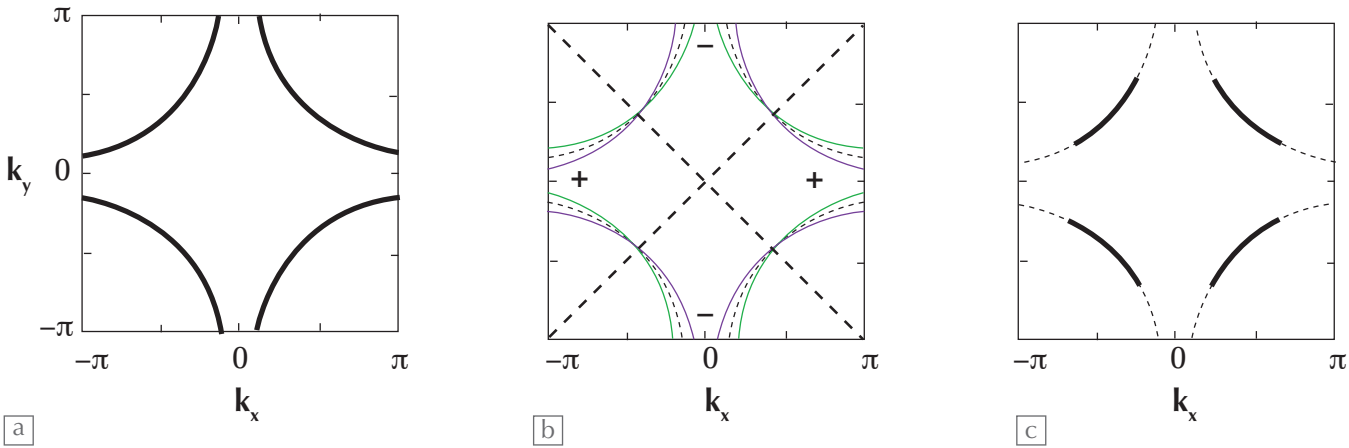
En fonction du dopage, T_c décrit un dôme, avec un maximum pour le dopage dit *optimal* correspondant à 16% de trous / Cu (fig. 3). D'un point de vue macroscopique, la SHTC dans les oxydes de cuivre ne semble pas différente de la supraconductivité conventionnelle, avec la formation d'un état cohérent de paires d'électrons dans un état singulet. Cela signifie que leurs *spins* sont opposés, et que la partie orbitale de la paire de Cooper est symétrique, afin que la paire satisfasse le principe d'antisymétrie lors d'un échange des électrons [4]. Si, de plus, l'attraction entre électrons est uniforme, on a un *gap* Δ isotrope, c'est-à-dire indépendant de la direction de propagation des électrons – on parle de *symétrie s* [4].

Dans les oxydes de cuivre supraconducteurs, le formalisme de la théorie BCS est tout aussi applicable, avec la formation d'un *gap* supraconducteur qui doit s'annuler à T_c . Mais ici, l'amplitude du *gap* dépend de la direction du vecteur d'onde \mathbf{k} de propagation des électrons. On a alors un *gap* $\Delta_{\mathbf{k}}$ anisotrope, dont il est maintenant clairement établi qu'il est de *symétrie $d_{x^2-y^2}$* (fig. 5b) : le *gap* est maximal dans la direction des liaisons Cu-O-Cu et nul dans la direction diagonale, « nodale », où il change de signe. Ceci implique que le potentiel d'attraction V entre électrons n'est pas isotrope.

De plus, parce que la vitesse de Fermi (c'est-à-dire le nombre de trous) est faible et le *gap* élevé, la longueur de cohérence supraconductrice est extrêmement réduite, $\xi \sim 20 \text{ \AA}$ dans les plans CuO_2 et $\sim 5 \text{ \AA}$ dans la direction perpendiculaire, à comparer avec $\xi \sim 1000 \text{ \AA}$ dans les supraconducteurs classiques. L'anisotropie de ξ dans les cuprates confirme que la supraconductivité siège dans les plans CuO_2 .

Un état mystérieux : la phase à *pseudo-gap*

Un des mystères persistants des oxydes de cuivre supraconducteurs est l'existence d'une phase dite de « *pseudo-gap* » (figs. 3 et 4). Dans les supraconducteurs classiques, la supraconductivité se développe à partir d'un état métallique avec une densité d'états électronique constante, indépendante du vecteur d'onde \mathbf{k} au niveau de Fermi. Dans les oxydes de cuivre, de nombreuses propriétés physiques indiquent une réduction progressive du poids spectral des états électroniques au niveau de Fermi lorsque la température diminue dans l'état non supraconducteur. En effet, les mesures macroscopiques thermodynamiques ou de transport électrique présentent des anomalies en dessous d'une température T^* plus grande que T_c . Aussi, il est connu depuis 1989 que la susceptibilité magnétique uniforme déterminée par des



5. Surface de Fermi des cuprates supraconducteurs. Les intégrales de transfert étant très faibles dans la direction c , la surface de Fermi est pratiquement cylindrique : elle peut donc être représentée par des courbes dans l'espace réciproque 2D des plans CuO_2 .

a) Surface de Fermi bidimensionnelle dans l'état normal pour $T > T^*$.

b) Ouverture du *gap* supraconducteur (entre les courbes vertes et violettes) de symétrie « d » au niveau de Fermi, pour $T < T_c$. La largeur du *gap* est maximum dans les directions x et y , et nulle dans les directions diagonales.

c) « Arcs de Fermi » (en noir) caractérisant la phase de pseudo-*gap*, pour $T_c < T < T^*$.

mesures de résonance magnétique nucléaire (RMN) ne se comporte pas de manière ordinaire (comme une susceptibilité de Pauli), mais diminue au fur et à mesure que l'on réduit la température [5]. Cela suggère l'ouverture d'un minimum dans la densité d'états, ou « pseudo-*gap* », au niveau de Fermi dès l'état normal.

De leur côté, les différentes spectroscopies sensibles à la dépendance angulaire de la dynamique des électrons montrent toutes que la disparition des états excités de basse énergie a lieu de manière non uniforme [2, 6]. En effet, le pseudo-*gap* semble reproduire la symétrie du *gap* supraconducteur : il est lui aussi maximum dans les directions des liaisons Cu-O-Cu , et minimum suivant les directions nodales. À haute température, et dans le régime surdopé, on a une densité d'états constante, correspondant à une surface de Fermi « large » (fig. 5a). Par contre, si on diminue T en dessous de T^* dans le régime sous-dopé, les parties de la surface de Fermi autour des directions des liaisons Cu-O-Cu sont détruites suite à l'ouverture du pseudo-*gap*, laissant les seuls « arcs de Fermi » de la figure 5c. Le mystère s'épaissit lorsque l'on constate que le *gap* supraconducteur semble provenir sans discontinuité de ce pseudo-*gap* (fig. 4). L'ensemble des techniques généralement utilisées pour mesurer le *gap* supraconducteur, indique que pour la direction parallèle aux liaisons

Cu-O , sa largeur en énergie est la même que celle du pseudo-*gap*, et, comme celui-ci, décroît de façon monotone en fonction du dopage (de la même façon que T^* sur la figure 3). Pris au pied de la lettre, ce résultat surprend, car il semble briser la propriété fondamentale de la théorie BCS que le *gap* supraconducteur doit être proportionnel à T_c .

S'il est difficile de définir une seule température T^* à partir des anomalies des diverses propriétés physiques, chaque technique étant sensible au pseudo-*gap* de manière différente, toutes les mesures pointent vers un comportement pathologique du métal, à partir duquel la supraconductivité à haute température critique émerge. Une place spécifique est cependant prise par les expériences sensibles à la cohérence de phase supraconductrice, qui révèlent un *gap* supraconducteur plus en accord avec les attentes de la théorie BCS.

L'origine du pseudo-*gap* est donc matière à débat. Deux interprétations sont actuellement en compétition : un état précurseur à la supraconductivité, ou une phase ordonnée en concurrence avec l'état supraconducteur.

Des paires préformées...

Comme il a une symétrie similaire et la même amplitude que le *gap* supraconducteur, il est assez naturel de considérer que le pseudo-*gap* n'est en fait qu'un précurseur

de la supraconductivité. Une manière élégante de présenter ce scénario est de décomposer l'état supraconducteur en trois ingrédients : (i) des paires d'électrons, (ii) dans un état *singulet de spin*, (iii) condensées dans un même état. Il suffit de faire en sorte que ces phénomènes ne se produisent pas à la même température. Dans les théories de paires préformées, les paires d'électrons se forment en dessous de T^* , mais n'acquiescent une cohérence de phase qu'à T_c . Cependant, bien que très prometteuse, cette approche n'a pas rencontré de confirmation expérimentale spécifique, par exemple en sondant directement les paires préformées [7].

Des boucles de courant...

Une autre façon de comprendre le pseudo-*gap* est de l'associer à une phase ordonnée, concurrençant l'état supraconducteur, et caractérisée par un paramètre d'ordre « caché », caché dans le sens où il doit être difficile à déterminer expérimentalement. En effet, en dépit de l'énorme masse de données expérimentales recueillies depuis la découverte de ces matériaux, aucune indication franche d'une transition de phase à T^* n'a pu être mise au jour. Des modèles théoriques ont néanmoins été postulés pour expliquer ce possible nouvel état de la matière, tout en essayant de se conformer aux données expérimentales.





En particulier, une phase où des nanoboucles de courant circuleraient à l'intérieur de chaque maille élémentaire (fig. 6c) a été proposée par C.M. Varma [8]. Ce type de paramètre d'ordre implique une brisure de symétrie par renversement du temps, mais pas celle de la symétrie de translation du cristal. Cette phase a une signature dans des expériences de diffraction de neutrons, car ces boucles de courant génèrent des moments magnétiques orbitaux (fig. 6d). Des expériences de diffraction de neutrons polarisés au Laboratoire Léon Brillouin ont permis d'identifier un ordre magnétique associé au pseudo-gap [9]. Cet ordre magnétique nouveau, dont l'observation est maintenant généralisée dans trois familles distinctes de cuprates, possède la symétrie attendue de ces nanoboucles de courant, sans qu'il soit toutefois possible de prouver qu'il est uniquement lié à ces moments orbitaux.

Au carrefour de plusieurs instabilités ?

La difficulté de la compréhension théorique des cuprates supraconducteurs est de pouvoir décrire les fortes corrélations électroniques. Un élément essentiel est sans aucun doute la forte répulsion coulombienne sur le site du cuivre, qui rend compte de la phase antiferromagnétique à faible dopage. Comme dans d'autres oxydes d'éléments atomiques 3d, par exemple ceux de nickel ou de cobalt, la répulsion coulombienne peut également favoriser la

ségrégation spatiale des charges électroniques. Notamment, il est possible de gagner de l'énergie magnétique lorsque l'on forme dans les plans CuO_2 une distribution hétérogène de charges, sous forme de « rubans de charges » : des zones riches en porteurs de charges, formant des bandes, séparant des zones pauvres en porteurs de charges où l'ordre antiferromagnétique subsiste (fig. 6b). Il existe ainsi, dans les SHTC, une grande variété de phases d'ondes de densité de charges et/ou de spins, dans lesquelles la densité de charge et/ou de spin est modulée spatialement, avec une longueur d'onde incommensurable avec le réseau cristallin. Ces phases ne sont toutefois pas spécifiques aux cuprates.

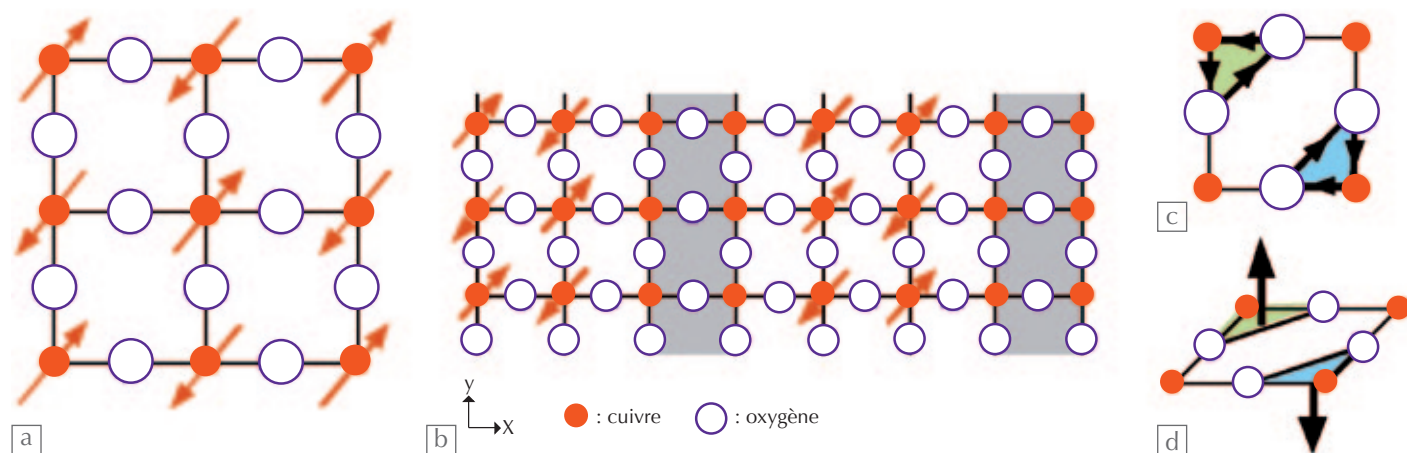
Leur pertinence à expliquer les propriétés anormales de ces composés, dont la supraconductivité et le pseudo-gap, est toujours un sujet très âprement débattu. Dans les scénarios où les ondes de densité de spins/charges contrôlent les propriétés physiques, la phase à pseudo-gap représente dans le diagramme de phases (fig. 3) une zone de transition où les fluctuations de spins et/ou de charges deviennent prédominantes. Cependant, expérimentalement, ces ondes de densités sont particulièrement importantes autour d'un dopage de 1/8, ce qui ne correspond à aucune anomalie nette des propriétés du pseudo-gap. À l'opposé, si l'on est convaincu que la phase du pseudo-gap préfigure la supraconductivité d'une manière ou d'une autre, la tendance à former des modulations spatiales de charges n'est pas essentielle.

Une façon de réconcilier ces différents scénarios est de considérer que la physique des cuprates se situe au carrefour de plusieurs états électroniques, dont l'importance relative varie d'une famille de cuprates à une autre. Clairement, la supraconductivité est plus faible quand les ordres de charges sont forts. De son côté, la phase de pseudo-gap est mieux définie quand la supraconductivité est bien développée, et plus floue dans le cas contraire.

Quel mécanisme ?

Assez généralement, et bien qu'aucun consensus n'ait encore été atteint, un mécanisme d'origine purement électronique de la supraconductivité semble favorisé [10]. L'interaction entre les électrons et les vibrations du réseau cristallin (phonons), bien que présente et observée expérimentalement, est reléguée à un rôle secondaire.

Il a été établi très rapidement après la découverte de ces matériaux, que les interactions antiferromagnétiques maximales suivant les liens cuivre-oxygène, et ferromagnétiques sur la diagonale (fig. 6a), possèdent la symétrie requise pour obtenir un gap supraconducteur de symétrie *d*. La présence de fortes fluctuations dynamiques antiferromagnétiques mesurées, tant par RMN que par diffusion inélastique de neutrons (DIN), sur l'ensemble du diagramme de phase des cuprates, a fortement justifié un mécanisme magnétique de la supraconductivité. Par exemple, l'observation par spectroscopie DIN [11] (voir



6. Plan CuO_2 dans différentes configurations possibles.

- a) Ordre antiferromagnétique des spins (flèches rouges) sur les sites de cuivre, représentatif du dopage nul. Remarquer que le couplage est antiferromagnétique le long des arêtes et ferromagnétique le long des diagonales des plaquettes CuO_2 .
- b) Ondes de densité de charges et de spins (se propageant respectivement dans les directions x et y), caractérisant l'ordre de rubans de charges (zones grises).
- c) Boucles de courant, proposées pour expliquer la phase de pseudo-gap. Ces boucles induisent les moments magnétiques orbitaux représentés en d.

encadré et figure 7) d'un pic d'excitations antiferromagnétiques uniquement dans la phase supraconductrice souligne l'importance des corrélations magnétiques dans ces systèmes. Il est à noter que ce type d'excitations magnétiques originales a depuis été observé dans d'autres supraconducteurs, comme les pnictures de fer ou les systèmes à fermions lourds, où le magnétisme joue également un rôle prédominant.

La « colle » couplant les électrons d'une paire de Cooper pour la supraconductivité serait alors fournie par les fluctuations magnétiques, présentes dès l'état normal. On peut en donner une image similaire à celle de l'appariement par interaction électron-phonon : un électron polarise en *spin* le nuage magnétique corrélé ; ensuite cette polarisation affecte un second électron, qui s'apparie ainsi avec le premier.

Conclusion

En conclusion, la description de la phase de pseudo-*gap* est un prérequis pour la compréhension du mécanisme de la supraconductivité à haute température critique. En tout état de cause, le diagramme de phase (fig. 3) suggère fortement un appariement supraconducteur non conventionnel.

On remarque que l'étude des supraconducteurs à haute température a obligé les physiciens du solide à repousser les limites de nombreuses techniques expérimentales, dont la photoémission résolue en angle et la microscopie à effet tunnel sont deux exemples révélateurs. Par diffusion de neutrons, on n'a jamais autant dédié de temps de faisceau qu'à l'étude de ces composés.

De fait, la physique des cuprates révèle une complexité qui force les théoriciens à proposer de nouveaux concepts et à faire évoluer les outils mathématiques à leur disposition. Elle contribue aussi à l'émergence de nouvelles méthodes numériques pour aborder les systèmes d'électrons en forte interaction qui, en fait, font intervenir les degrés de liberté de charge, de *spins* et peut-être aussi du réseau.

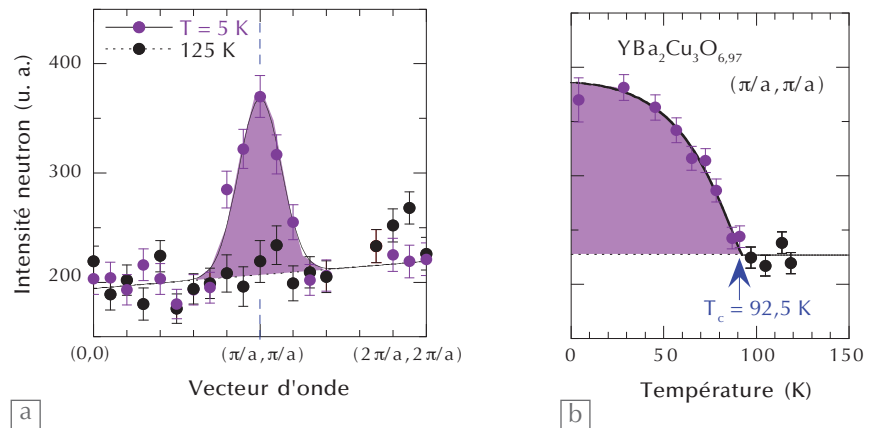
La supraconductivité à haute température critique semble résulter d'un équilibre fragile entre ces trois types d'instabilités. ■

► Diffusion inélastique de neutrons (DIN)

La diffusion inélastique de neutrons thermiques est une technique expérimentale spectroscopique, utilisée en physique de la matière condensée pour étudier les mouvements atomiques (phonons) et les excitations magnétiques (ondes de *spin*, ...). En effet, l'énergie (~ quelques meV) et la quantité de mouvement des neutrons thermiques sont comparables à celles de ces excitations. De plus, le neutron possède un *spin*, ce qui lui permet d'interagir avec les électrons non appariés, responsables du magnétisme du matériau sondé. Lorsque la collision entre un neutron thermique et l'échantillon est « inélastique », le changement d'énergie et d'impulsion du neutron se traduit par la création ou l'annihilation d'une excitation cristalline ou magnétique.

Dans les monocristaux, la technique utilisée d'habitude est la « spectroscopie trois-axes » (voir photo, p. 11). Un faisceau de neutrons monochromatique sélectionné par réflexion de Bragg sur un cristal est envoyé sur l'échantillon étudié. L'énergie des neutrons diffusés par cet échantillon est analysée par un second monocristal et un détecteur mobile. Le changement d'énergie et de moment cinétique d'un neutron lors du processus de diffusion par l'échantillon donne directement la fréquence et le vecteur d'onde du quantum d'excitation absorbé ou émis.

À titre d'exemple, le « pic de résonance » observé par DIN dans l'état supraconducteur du cuprate $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ autour du vecteur d'onde $(\pi/a, \pi/a, q_z)$ (fig. 7) correspond à la création d'une « fluctuation antiferromagnétique », d'énergie bien définie de 40 meV et d'extension spatiale (donnée par la largeur du pic dans l'espace des impulsions) de l'ordre de quelques nanomètres.



7. Pic de résonance de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,97}$, observé par diffusion inélastique de neutrons. (a) Dépendance en fonction du vecteur d'onde. (b) Dépendance en fonction de la température. (D'après P. Bourges *et al.*, *Phys. Rev. B* **53** (1996) 876).

Références

- 1• K. van der Beek, « Supraconductivité : la mécanique quantique à grande échelle », *Reflète de la physique* **27** (2011) 6-11.
- 2• N. Bontemps et Ch. Simon, *Images de la Physique* (2005), p. 98.
- 3• J. Zaanen, dans *100 years of superconductivity*, eds. H. Rogalla et P.H. Kes, Taylor & Francis (2011), arXiv:1012.5461.
- 4• F. Levy-Bertrand et K. van der Beek, « Les supraconducteurs ferromagnétiques », à paraître dans *Reflète de la physique* n°32 (2012).
- 5• H. Alloul, T. Ohno et P. Mendels, *Phys. Rev. Lett.* **63** (1989) 1700.
- 6• A. Sacuto *et al.*, *C.R. Physique* **12** (2011) 480-501, arXiv:1103.5675.
- 7• N. Bergeal *et al.*, *Nature Physics* **4** (2008) 608.
- 8• C.M. Varma, *Phys. Rev. B* **55** (1997) 14554.
- 9• P. Bourges et Y. Sidis, *C.R. Physique*, **12** (2011) 461-479, arXiv:1101.1790.
- 10• P. Monthoux, D. Pines et G.G. Lonzarich, *Nature* **450** (2007) 1177.
- 11• Y. Sidis *et al.*, *C.R. Physique*, **8** (2007) 745.

Les supraconducteurs à base de fer

Philippe Bourges (philippe.bourges@cea.fr) et Yvan Sidis (yvan.sidis@cea.fr)
Laboratoire Léon Brillouin, UMR 12 CEA-CNRS, CEA Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Vingt-deux ans après la découverte de la supraconductivité dans des oxydes de cuivre, une deuxième famille de matériaux supraconducteurs à haute température critique, cette fois-ci à base de fer, a été mise au jour. Plus qu'une heureuse surprise, cette nouvelle découverte prouve qu'il y a différentes voies pour atteindre des températures critiques élevées.

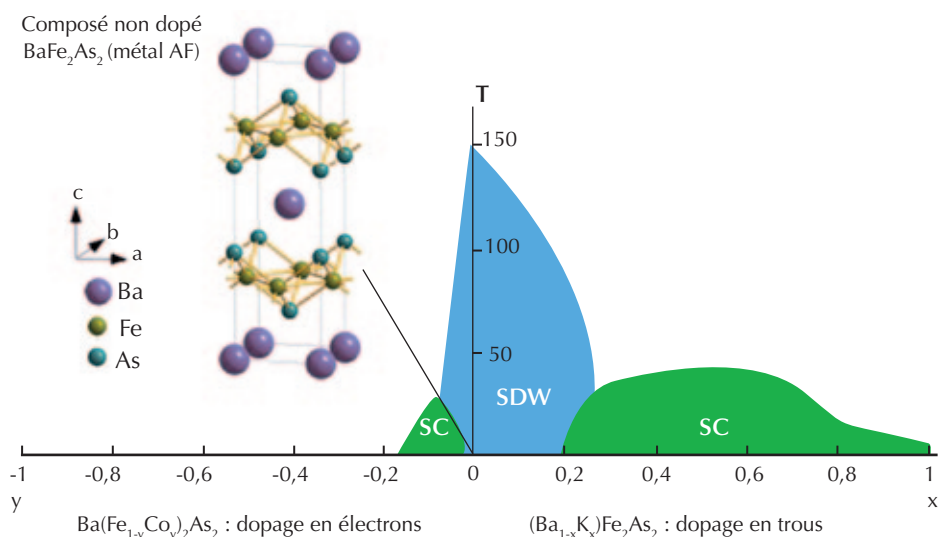
Les applications de ces pnictures et chalcogénures de fer demeurent pour l'instant confidentielles. Mais l'origine de leur supraconductivité, potentiellement différente de celle des cuprates, souligne la grande fécondité de la physique des solides, et constitue un nouveau défi de taille pour la théorie.

(1) Pnictures : composés contenant des éléments de la colonne de l'azote du tableau périodique : N, P, As, Sb.

(2) Magnétisme itinérant : magnétisme qui apparaît dans des matériaux métalliques, dans lesquels les électrons sont assez fortement délocalisés sans être totalement libres ; c'est le cas du magnétisme du fer, du cobalt et du nickel.

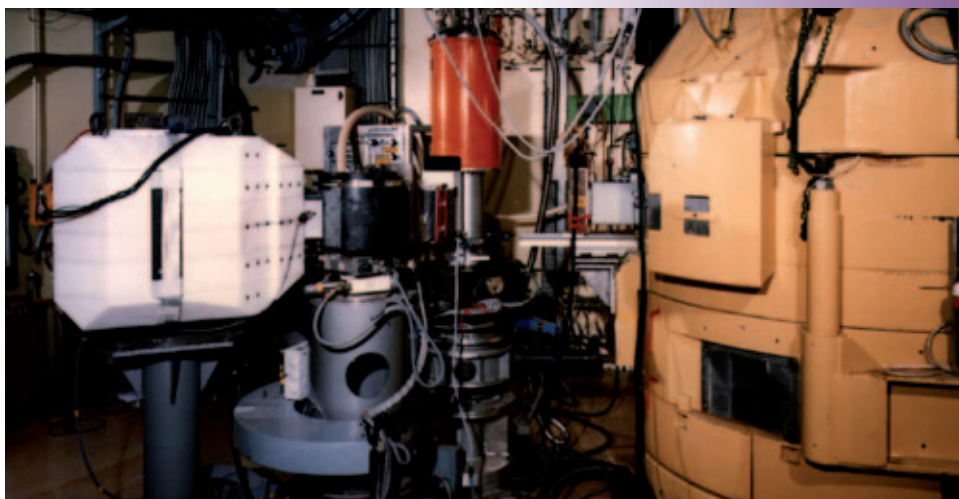
À la grande surprise de la communauté scientifique, une supraconductivité à haute température critique ($T_c > 50$ K) a été découverte dans des composés à base de fer, en mars 2008 [1]. En effet, le fer, élément magnétique, était plutôt considéré comme antagoniste de la supraconductivité. De plus, c'était la première fois qu'on atteignait une température critique si élevée sans cuivre ni oxygène. De même que les oxydes de cuivre supraconducteurs, ces nouveaux composés présentent une structure lamellaire avec, cette fois, des couches de pnictures⁽¹⁾ de fer (Fe et As ou P) ou de chalcogénure de fer (Fe et Se ou Te), entre lesquelles s'intercalent également des plans « réservoirs de charges » (voir l'image de couverture). Ces matériaux présentent un diagramme de phase proche de ceux des cuprates avec, en fonction du dopage, une phase antiferromagnétique, puis la phase supraconductrice (fig. 1).

Cependant, il est apparu rapidement que les propriétés des cuprates et des supraconducteurs à base de fer sont assez différentes. En particulier, alors que dans le cas des cuprates, le composé parent non dopé est un isolant avec un magnétisme localisé, les pnictures⁽¹⁾ de fer restent métalliques à dopage nul, avec un magnétisme itinérant⁽²⁾ induit par des propriétés d'« emboîtement » de la surface de Fermi. Les interactions électroniques semblent de fait plus faibles que dans les cuprates. Les cinq orbitales *d* du fer apportent les électrons de conduction, et sont potentiellement toutes impliquées dans la supraconductivité, ce qui induit un degré de complexité supplémentaire dans ces systèmes. Les mesures de photoémission résolue en angle et les calculs de bandes électroniques s'accordent sur l'existence de plusieurs surfaces de Fermi de trous et d'électrons, sur lesquelles différents *gaps*



1. Diagramme de phase du pnicture de fer $BaFe_2As_2$, en fonction d'un dopage en trous (x) ou en électrons (y), avec une phase supraconductrice (SC) de chaque côté. Le dopage en électrons est obtenu en substituant des atomes de cobalt aux atomes de fer, le dopage en trous en substituant du potassium au baryum. À dopage nul, à la différence des cuprates, le système reste métallique, avec un ordre antiferromagnétique caractérisé par une onde de densité de spins (SDW). La structure cristalline du composé non dopé $BaFe_2As_2$ comporte des blocs d'atomes de fer (jaunes) et d'arsenic (turquoise), séparés par des plans de baryum (atomes violets).

Spectromètre trois-axes 2T du Laboratoire Léon Brillouin (CEA-CNRS, Saclay) pour l'étude par diffusion inélastique de neutrons thermiques (DIN, voir encadré p. 9) des excitations cristallines et magnétiques dans des matériaux monocristallins. De droite à gauche : protection biologique du monochromateur (en orange), l'axe échantillon (avec le cryostat rouge), l'axe du cristal analyseur, et la protection du détecteur (en blanc).



supraconducteurs se développent. Les *gaps*, dits de *symétrie s_{\pm}* , sont isotropes avec un changement de signe entre les différents feuillettes de la surface de Fermi. Plusieurs mesures récentes indiquent cependant l'existence de « nœuds » au niveau de Fermi (c'est-à-dire de points de la surface de Fermi où le *gap* est nul) [2].

La plupart des théories de la supraconductivité sont basées sur l'existence d'un boson, déjà présent dans l'état normal, médiateur de l'attraction entre électrons. Dans le cas des pnictures de fer, les vibrations du réseau ne sont pas de bons candidats, car l'interaction électron-phonon est faible dans ces matériaux. Le diagramme de phase et la symétrie non conventionnelle du paramètre d'ordre suggèrent un appariement des paires de Cooper *via* un mécanisme d'origine purement électronique, mettant en jeu les fluctuations magnétiques.

Les électrons s'apparieraient en utilisant les fluctuations qu'ils ont eux-mêmes engendrées sous l'effet de leurs interactions. Les propriétés des électrons, des paires de Cooper et des fluctuations magnétiques sont alors toutes reliées les unes aux autres, et doivent être traitées de façon autocohérente.

Pour être confortée, cette approche requiert une description quantitative du spectre des fluctuations magnétiques, ainsi qu'une estimation de l'amplitude du couplage *V* entre les électrons et ces fluctuations. Là encore, la diffusion inélastique de neutrons (voir encadré, p. 9) a été utilisée [3] pour mettre en évidence de fortes fluctuations magnétiques dans la phase normale autour du dopage optimal. En passant dans l'état supraconducteur, un pic de résonance apparaît dans le spectre des fluctuations magnétiques, comme attendu pour une *symétrie s_{\pm}* du paramètre d'ordre supraconducteur.

L'énergie de cette excitation résonnante diminue avec la température, suivant exactement l'évolution thermique de l'énergie nécessaire pour briser une paire de Cooper, comme le prédit la théorie.

Si la découverte de la supraconductivité des matériaux à base de fer est une excellente nouvelle pour la physique des solides, leur développement pour les applications pose de nombreux problèmes. Leur supraconductivité, de type *s*, les rend moins vulnérables à la présence de défauts cristallins que les cuprates. Cependant, la fabrication d'échantillons suffisamment purs et de grande taille n'en est encore qu'à ses balbutiements. ■

Références

- 1 • Y. Kamihara *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **130** (2008) 3296.
- 2 • P.J. Hirschfeld *et al.*, *Rep. Prog. Phys.* **74** (2011) 124508.
- 3 • D.S. Isonov *et al.*, *Nature Phys.* **6** (2010) 178.

Brève

Un mille-feuille de supraconducteur et de matériau magnétique

Actualité scientifique de l'Institut de Physique du CNRS du 26 juin 2012

Le magnétisme ne fait pas bon ménage avec la supraconductivité, qui disparaît en présence d'un champ magnétique trop important. Pourtant, un composé à base de fer est à la fois un bon supraconducteur et un excellent aimant. Des physiciens du Laboratoire de Physique des Solides^(a) (LPS) ont résolu le paradoxe, en analysant des matériaux élaborés dans des laboratoires allemands d'Augsburg et Stuttgart : ces matériaux ont une structure feuilletée, où des couches supraconductrices, épaisses de seulement quelques nanomètres, alternent avec d'épaisses couches magnétiques [1].

Pour parvenir à leurs fins, les physiciens du LPS ont étudié des échantillons d'un composé supraconducteur de rubidium, sélénium et fer, à l'aide de la résonance magnétique nucléaire. Cette méthode permet d'analyser l'échantillon dans son volume, en déterminant l'environnement magnétique des atomes de rubidium et de sélénium. Ces mesures mettent en évidence la présence de deux phases séparées : une phase antiferromagnétique et une phase supraconductrice, et permettent aussi de déterminer la composition de cette dernière. C'est l'assemblage en fines couches alternées qui fait l'originalité de ce matériau et avait trompé les physiciens jusque-là. Une question se pose maintenant : pourquoi ce matériau pousse-t-il ainsi de façon naturelle, en reproduisant une structure en couches qui rappelle les hétérostructures au cœur de l'électronique moderne ?

Référence

[1] Y. Texier *et al.*, "NMR in the 245 iron-selenides $Rb_{0.74}Fe_{1.6}Se_2$: Phase separation between an antiferromagnet and a superconducting $Rb_{0.3}Fe_2Se_2$ ", *Phys. Rev. Lett.* **108** (2012) 237-002.

(a) LPS, UMR CNRS 8502, Université Paris Sud.

Contact

Julien Bobroff (julien.bobroff@u-psud.fr)

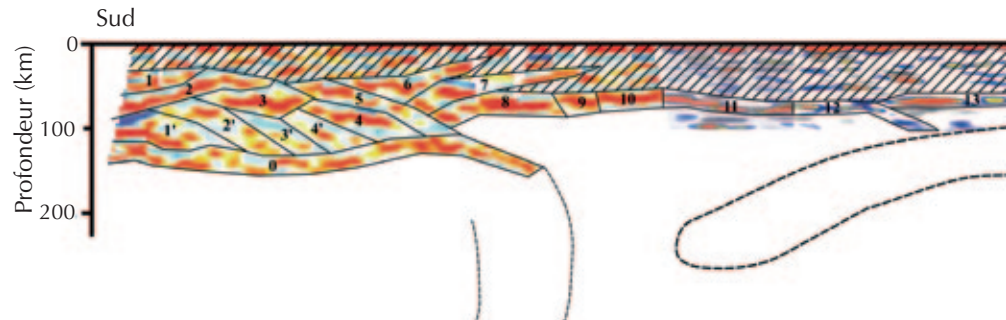
Des problèmes inverses en physique

Georges Jobert (jobert.g@wanadoo.fr)

Professeur honoraire à l'Université Pierre et Marie Curie - Ancien directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris

Malgré sa grande importance pratique, la théorie des problèmes inverses reste mal connue. Et pourtant elle est presque omniprésente : avec le GPS, du trajet automobile en ville à la mesure de la vitesse des neutrinos, avec la sismologie, la prospection pétrolière, la découverte de nouvelles planètes, l'imagerie médicale, la reconnaissance des caractères, la cristallographie...

La physique s'est construite par l'élaboration de théories, c'est-à-dire par la résolution de problèmes directs, où l'on passe d'un modèle aux données mesurables correspondantes. Le passage des données aux paramètres du modèle – la résolution d'un problème dit « inverse » – est une démarche en quelque sorte opposée à la démarche naturelle de la physique. Mais elle est essentielle dans toutes les disciplines où celle-ci intervient.



1. Coupe Sud-Nord du Tibet, obtenue à partir des campagnes sismologiques de l'INSU entre 1981 et 1998 (A. Hirn). La base de la croûte (zone hachurée, discontinuité de Mohorovičić, entre 50 et 70 km) n'est pas plane et semble souvent multiple. Des interfaces plus profondes apparaissent aussi.

Neutrinos et problèmes inverses

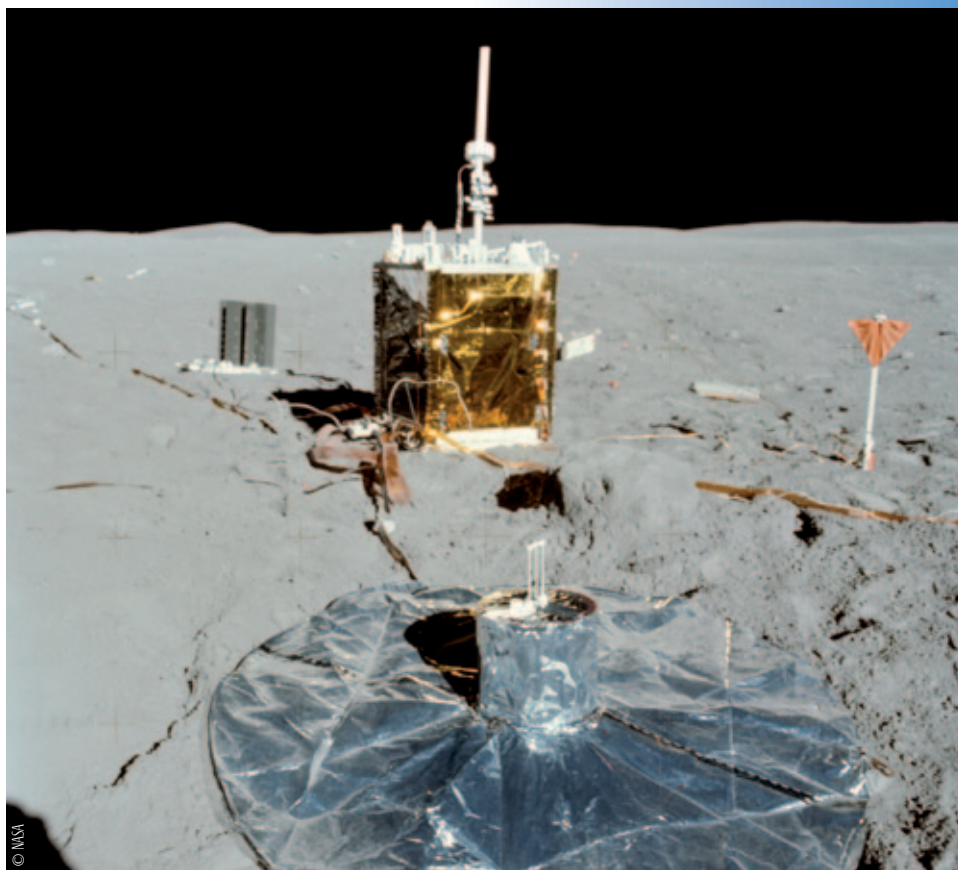
L'annonce faite le 22 septembre 2011 par les chercheurs de l'expérience OPERA [1], que la vitesse des neutrinos observés dépassait celle de la lumière, a fait l'effet d'une bombe, non seulement dans les milieux scientifiques, mais dans l'ensemble de la presse. Notre propos ici n'est pas de faire l'analyse d'une expérience fort complexe, ou de discuter la validité de ses résultats, mais de montrer qu'une théorie très générale y est discrètement à l'œuvre, comme dans des dizaines d'applications faites par chacun de nous dans la vie de tous les jours.

Rappelons d'abord que l'expérience est basée sur la création de neutrinos au CERN près de Genève et la détection de leur arrivée à une station, sous le Gran Sasso dans les Abruzzes. Les neutrinos font le parcours en ligne droite dans la croûte terrestre. La longueur du trajet parcouru est de l'ordre de 730 km. Pour la déterminer, on a procédé par GPS à des mesures d'une extrême précision [2].

Or, localisation par GPS, ingénierie médicale (échographie, tomographie...), recherche de défauts par analyse non destructive, reconnaissance de structures et de caractères, détection de nouvelles planètes,

structure de l'intérieur de la Terre (fig. 1) et d'étoiles, recherche pétrolière ou gazière, et bien d'autres applications – de la diffraction de particules en mécanique quantique [3] à l'économétrie –, ne seraient pas possibles sans les progrès faits pendant ces cinquante dernières années dans la théorie des problèmes inverses (et sans l'explosion de la puissance des ordinateurs nécessaires pour leur résolution).

Dans le cas du GPS, il a fallu d'abord résoudre le problème inverse de la détermination du champ de gravité de la Terre à partir de l'observation des trajectoires de nombreux satellites (la Lune d'abord, puis les satellites artificiels). Une fois ce champ connu, les positions d'un groupe de satellites munis d'émetteurs et d'horloges très précises peuvent être déterminées. La position d'un point à la surface de la Terre peut alors être calculée à partir des temps d'arrivée des ondes émises par les satellites. En fait, l'amélioration des modèles du champ de gravité se fait en traitant simultanément les deux problèmes : calcul des trajectoires et positionnement des stations. C'est un des aspects particulièrement intéressants de la théorie d'Albert Tarantola (voir sa biographie, encadré 1, p. 14), présentée *in fine*.



Le sismomètre passif déposé sur la Lune lors de la mission Apollo 16 en avril 1972 (en bas, au centre).

Sur la théorie des problèmes inverses

Je vais essayer de donner une idée des méthodes de la théorie des problèmes inverses, en évitant, autant que possible, les aspects techniques.

On peut décrire ainsi la démarche habituelle d'une science expérimentale : les phénomènes observés conduisent à formuler des hypothèses et à élaborer une théorie, dans laquelle on construit un modèle du système étudié, prenant en compte les paramètres nécessaires à sa caractérisation. Cette théorie permet alors de résoudre le problème dit « direct », c'est-à-dire de calculer, à partir des valeurs choisies pour les paramètres pertinents, les valeurs de certaines grandeurs, les données, que l'on comparera aux valeurs observées. Une théorie est en somme la formulation d'un problème direct. Prenons comme exemple un problème étudié par Abel en 1826 : sur une ligne de plus grande pente d'une colline (supposée de forme connue, et parfaitement lisse) on lance un mobile vers le haut. Connaissant le profil de la colline et la vitesse initiale du véhicule, trouver la durée d'un trajet aller-retour. En comparant les valeurs calculées aux valeurs observées, éventuellement à la suite d'expériences

programmées à cette fin, on peut vérifier la validité de la théorie ou la réfuter.

Déterminer les propriétés du système étudié à partir des données observées, c'est-à-dire résoudre un problème inverse, est une démarche autrement difficile, car elle procède à l'opposé de la démarche normale des sciences expérimentales. Pour le cas étudié par Abel, le problème inverse consiste à trouver la forme du profil de la colline, connaissant le temps mis pour un aller-retour du mobile en fonction de sa vitesse initiale. En mathématiques, c'est par exemple le fameux problème du tambour : trouver sa forme à partir des sons qu'on en tire ; il faut alors chercher les coefficients d'une équation aux dérivées partielles ou d'une équation différentielle, connaissant le spectre des valeurs propres. On rencontre ce type de problème, en particulier quand on veut déterminer les propriétés d'un milieu inaccessible à l'observation directe, à partir d'observations faites à l'extérieur de celui-ci.

C'est évidemment le cas de la géophysique interne. Il est donc naturel que de nombreux géophysiciens aient contribué aux progrès de cette discipline en développant toute une série de méthodes pour résoudre leurs problèmes, qu'ils soient linéaires, linéarisables ou non.

Problèmes inverses en géophysique

Un des premiers problèmes inverses étudiés dans cette discipline est la détermination de l'origine (position, instant) des ondes émises lors d'un séisme, à partir de leurs temps d'arrivée en un certain nombre de points. Si l'on peut supposer que la propagation se fait à vitesse constante sur une surface plane, ce problème n'offre pas de difficulté et peut être traité par la méthode des moindres carrés développée par Gauss au début du XIX^e siècle. Une fois déterminée la source, on peut calculer le temps mis par une onde pour atteindre un point donné de la surface. On constate que sur la Terre (presque) sphérique, cette durée ne dépend (presque) que de la distance entre la source et la station, et que la vitesse apparente du signal est plus grande que si la propagation se faisait en surface.

On peut alors formuler un autre problème inverse : déterminer la vitesse de l'onde en fonction de la profondeur, si elle n'est fonction que de celle-ci. Vers 1910, Batemann, Herglotz et Wiechert appliquèrent la méthode employée par Abel au problème cité plus haut qui lui est équivalent. Dans la pratique, on rencontre cependant beaucoup de difficultés. La solution





Albert Tarantola a fait toute sa carrière à l'Institut de Physique du Globe de Paris. Mais il s'était d'abord intéressé à l'astronomie, avec pour thèse de spécialité : *Étude en relativité générale de l'évolution des amas de galaxies*. L'enseignement suivi laissa en lui une marque profonde et orienta nombre de ses réflexions.

Il choisit ensuite la géophysique interne et s'intéressa aussitôt à la théorie des problèmes inverses que j'enseignais alors. Il eut très vite l'intuition qu'une approche probabiliste permettrait une meilleure compréhension de la question. En 1987, il publia chez Elsevier le livre *Inverse Problem Theory* [1], dans lequel il développe les idées présentées dans sa thèse. A. Tarantola sut fonder une excellente école de géophysique appliquée. Il en fut un spécialiste reconnu dans le monde entier, et ses travaux furent les plus cités en géophysique dans la seconde moitié du XX^e siècle.

Mais ses études initiales en relativité l'amènèrent à une nouvelle entreprise, qu'il considérait comme une véritable refonte de la physique. Pour lui, effectuer une mesure ne consiste pas simplement à obtenir la valeur d'une grandeur physique avec l'incertitude qui lui est attachée. Car l'objet étudié est en fait une « qualité » du système, qui peut correspondre à diverses grandeurs selon le phénomène. Par exemple, pour la qualité chaud-froid d'un système donné, on pourra utiliser la température ou son inverse, ou son exponentielle pondérée. En musique, la fréquence ou la période... Ces outils ne sont en fait que les coordonnées que l'on a choisies sur une variété abstraite, qu'il appelle l'espace de la « qualité mesurable ». En étudiant la géométrie de la variété, on pourra déduire une théorie invariante par rapport à ce choix. On élimine de la sorte l'anomalie observée, par exemple en sismologie dans la résolution d'un problème inverse, où le résultat obtenu change selon que l'on cherche à déterminer la vitesse ou son inverse, la lenteur. Mais cette approche obligea A. Tarantola à construire un véritable arsenal mathématique, car la torsion de la variété fait perdre leur caractère associatif aux lois des ensembles étudiés. Ces notions sont développées dans son ouvrage *Elements for Physics* [2], où il présente aussi une nouvelle approche de la théorie de l'élasticité.

A. Tarantola pensait être en mesure de faire progresser significativement la théorie des probabilités. Il considérait que la théorie de Kolmogoroff, basée sur les probabilités conditionnelles, était insuffisante pour traiter le cas réel où les données sont entachées d'erreurs. Il préparait un ouvrage, *Mapping of probabilities*, qu'il ne put achever.

Albert Tarantola avait une personnalité généreuse, attachante, à l'ego flamboyant, mais surtout très originale. Né à Barcelone, il a passé toute sa jeunesse en Espagne, avant d'arriver à Paris au début des années 1970. Il abandonna très jeune le collège pour travailler, et ne reprit ses études que beaucoup plus tard, rattrapant rapidement son retard. Ce cursus hétérodoxe explique peut-être en partie son approche très personnelle de tous les problèmes qu'il a abordés : il combinait sa vive intelligence rationnelle et son ignorance



Dessin représentant Albert Tarantola en alchimiste dans son laboratoire. (Source : site web personnel d'Albert Tarantola)

initiale des outils nécessaires, qu'il reconstruisait à sa manière. Cet aspect, bien visible dans son dernier ouvrage, est sans doute une des raisons qui n'ont pas permis que son travail fût mieux connu et discuté. Seul le premier des chantiers qu'il avait lancés, a pu être mené à bien. Mais peut-être que les idées qu'il a présentées dans les autres, trouveront un jour leur place en physique.

Georges Jobert

[1] A. Tarantola, *Inverse problem theory – Methods for data fitting and model parameter estimation*, Elsevier Science and Technology (1987).

[2] A. Tarantola, *Elements for Physics – Quantities, Qualities, and Intrinsic Theories*, Springer (2006).

► Site Internet personnel d'Albert Tarantola :

www.ipgp.fr/~tarantola/

- on peut y télécharger les fichiers pdf de ses deux livres et de ses principaux articles,
- accéder par un lien à ses notes de cours (www.ipgp.fr/~tarantola/Files/Professional/Teaching/index.html),
- et y découvrir ses opinions – son désaccord avec l'expérimentation animale et sa technophobie, en particulier.

>>>

nécessite en effet le calcul de la dérivée du temps de transit par rapport à la distance, opération peu fiable avec des résultats expérimentaux. De plus, comme l'ont montré des géophysiciens soviétiques dans les années 1960, elle n'est unique que si la loi de vitesse satisfait certaines conditions. Mais cette méthode a permis de montrer que, dans l'ensemble, la vitesse croît avec la profondeur, avec, à certaines profondeurs des discontinuités, comme celle mise en évidence par le sismologue serbe Mohorovičić, en 1909, à une trentaine de km de profondeur.

Gutenberg montra l'existence du noyau terrestre en 1913. Des modèles de plus en plus détaillés de l'intérieur du Globe furent ensuite obtenus. En 1967, deux géophysiciens américains, G. Backus et F. Gilbert, développèrent une théorie générale qui amena une véritable révolution dans la discipline (voir la section « Les progrès » et la référence [4]).

Approximations successives

Les propriétés d'un milieu dépendent en principe de la position et du temps. Une description complète nécessiterait donc en général une information infinie. Dans la pratique, en se limitant à des problèmes statiques et en fragmentant le milieu, on se ramène à des suites discrètes et finies de paramètres. Par exemple, en définissant un modèle de Terre par la valeur de la densité dans une décomposition en volumes élémentaires homogènes, on peut, par la théorie de la gravitation de Newton, en déduire l'attraction qu'elle exerce à son extérieur.

On peut procéder ensuite, par ajustements successifs des paramètres, à l'obtention d'un accord entre valeurs calculées et valeurs

observées, compatible avec la précision instrumentale. C'est l'approche classique par approximations successives, la seule appliquée jusqu'au milieu du siècle dernier.

Existence, unicité, stabilité des solutions pour un problème linéaire

Les problèmes linéaires – c'est-à-dire ceux où les données dépendent linéairement des paramètres – sont les seuls pour lesquels la théorie peut être développée complètement (encadré 2). Un exemple simple permet de se rendre compte des difficultés qu'on y rencontre.

Supposons que les données d_1 et d_2 dépendent linéairement des paramètres x_1 et x_2 , suivant le système :

$$x_1 + x_2 = 2d_1, \quad x_1 + x_2 = 2d_2.$$

Ce système n'a pas de solution si $d_1 \neq d_2$; mais si $d_1 = d_2$, il en a une infinité : $x_1 = d_1 + a$, $x_2 = d_1 - a$, où a est quelconque.

De plus, la valeur des solutions peut dépendre très fortement de celle des coefficients de l'équation. Par exemple, si la seconde équation du système était remplacée par : $x_1 + 1,001 x_2 = 2d_2$,

le système aurait alors une solution unique :

$$x_1 = 2d_1 - 2000 (d_2 - d_1) \\ x_2 = 2000 (d_2 - d_1).$$

Pour $d_2 = d_1 = 1$, on aurait $x_1 = 2$ et $x_2 = 0$; mais pour $d_1 = 1$ et $d_2 = 1,01$, on aurait $x_1 = -18$ et $x_2 = 20$.

On voit que si les données ou la théorie ne sont connues qu'avec une certaine précision, la solution peut varier énormément pour une petite variation des données ; le système est instable, et le problème est dit « mal posé ». La matrice qui fait passer des paramètres aux données, est alors qualifiée de « mal conditionnée ».

Les progrès

On ne doit pas chercher une solution dépendant d'un nombre de paramètres supérieur au nombre de données. C'est une forme du principe de parcimonie (ou rasoir d'Ockham). Mais toutes les données n'ont pas la même importance. On peut tenir compte de l'information dont on dispose sur leurs erreurs probables, en donnant plus de poids à celles qui sont les plus précises. On introduit pour ce faire des matrices dites de covariance des données et de covariance des paramètres. On peut ainsi construire un inverse dit généralisé, qui est, dans un certain sens, la meilleure solution accessible.

G. Backus et F. Gilbert ont montré [4] en particulier qu'on peut, avant toute mesure effective, évaluer le nombre d'informations indépendantes contenues dans une collection de données – ce qu'on appelle la distribution de l'information. On peut, en principe, déterminer, avant toute expérience, quelles sont celles qui fourniront les données les plus intéressantes. On peut parallèlement évaluer le pouvoir séparateur qu'on peut alors obtenir sur les valeurs des paramètres du modèle. Une valeur locale pour un paramètre pouvant être considérée comme une moyenne pondérée par un certain filtre, le pouvoir séparateur correspond à la largeur du filtre optimal, qui peut être évaluée à partir des données.

Avec des données expérimentales, les résultats ont une imprécision due à la fois aux erreurs sur ces données et au pouvoir séparateur fini. On peut chercher à minimiser une quantité qui combine ces effets. Pour les problèmes linéaires, on montre que lorsque l'on fait décroître l'erreur expérimentale en augmentant la précision

>>>

► Problèmes linéaires : un peu de maths

encadré 2

Si l'on considère la collection de données comme un vecteur D et celle des paramètres comme un vecteur M , la relation linéaire du problème direct peut s'écrire sous la forme : $D = GM$, où G est une matrice. La transformation linéaire de M vers D est la composition d'homothéties suivant les axes principaux de la transformation, ses « vecteurs propres », avec pour facteurs leurs « valeurs propres ». Le domaine de l'espace des paramètres sous-tendu par les vecteurs propres à valeurs propres non nulles, est transformé par G dans l'espace des données en ce qu'on appelle l'image de M . Le système n'a de solution que si D est dans cette image. Le domaine complémentaire, sous-tendu par les vecteurs propres à valeurs propres nulles, s'appelle le noyau de G . Pour des paramètres appartenant au noyau, les données correspondantes sont nulles. On peut donc obtenir une nouvelle solution, en ajoutant à une première solution tout vecteur du noyau. Il n'y a pas unicité.

L'opération inverse G^{-1} , qui fait passer de D à M , se fait en composant des homothéties suivant les mêmes directions, mais avec des valeurs propres inverses des précédentes. (Dans l'exemple numérique ci-dessus, une valeur propre est voisine de 2, l'autre de 0,001. La matrice inverse a des éléments de l'ordre de 2000). En l'absence de valeurs propres nulles, cet inverse existe, et le problème inverse n'a qu'une solution : $M = G^{-1} D$. Mais comme on l'a vu, G peut être mal conditionnée : l'erreur relative sur la solution produite par une variation relative des données peut être un très grand multiple de cette dernière.



des mesures, le pouvoir séparateur décroît. Inversement, chercher une meilleure localisation pour un paramètre conduit à augmenter l'erreur que l'on a sur lui. C'est une forme du principe d'incertitude.

Problèmes non linéaires

Les problèmes non linéaires ne permettent pas ce genre d'analyse. Pour un modèle donné, on peut évaluer l'écart entre données observées et données calculées – en calculant par exemple la somme des carrés des différences, d'où le nom : méthode des moindres carrés, ou celle de leurs modules – et chercher la solution dans la direction où cet écart diminue le plus vite (méthode du gradient). On aboutit cependant souvent de cette manière à des minima secondaires, qui ne donnent pas la valeur la plus faible. Deux autres méthodes peuvent être utilisées :

a) **Linéarisation.** Si les études antérieures fournissent un résultat valable en première approximation, on peut chercher une solution au voisinage de ce modèle. Notant : $D = G(M)$ la relation entre données et modèle, M_0 le modèle de départ, ϵ son écart à la solution cherchée, on écrira : $D = G(M_0 + \epsilon) = G(M_0) + \epsilon G'(M_0) + O(\epsilon^2)$, où G' est une fonctionnelle que l'on peut construire à partir de G . On cherchera alors la solution du problème linéaire :

$D = G(M_0) + \epsilon G'(M_0)$. Ce processus peut être itéré.

b) **Méthode de Monte-Carlo.** Si le coût en calcul de la solution du problème direct n'est pas excessif, on peut procéder à une exploration aléatoire du domaine des paramètres. On évite ainsi la difficulté mentionnée plus haut. Mais dès que le nombre de paramètres est un peu grand, cette recherche devient vite trop coûteuse.

On trouvera une présentation détaillée de ces diverses méthodes dans les ouvrages de A. Tarantola [5]. Ce dernier a proposé [6] une approche probabiliste, basée sur un postulat dû à Bayes (1702-1761). L'encadré 3 en donne un aperçu très sommaire.

Dans cette démarche, problème direct et problème inverse perdent leurs spécificités et sont en fait remplacés par la recherche de l'état d'un système. Ceci correspond aussi à l'évolution de la recherche : par exemple, en sismologie on ne cherche plus à déterminer séparément les paramètres de la source sismique (origine et mécanisme au foyer) et ceux de l'intérieur du Globe. On cherche à déterminer simultanément tous ces paramètres, en tirant parti non seulement des temps d'arrivée des ondes, mais aussi de la forme des sismogrammes.

On peut adopter la formulation d'A. Tarantola : on dispose d'une information

a priori sur les paramètres du modèle étudié, sous la forme d'une distribution de probabilités sur l'espace des modèles. Cette distribution est transformée en une distribution *a posteriori*, en incorporant d'une part, une théorie physique qui relie les paramètres aux grandeurs observables, et qui peut éventuellement être elle-même entachée d'erreurs – et, d'autre part, une information fournie par les données observées. On effectue ainsi une révision de notre connaissance de l'état du système. ■

Références

- 1• F. Vannucci, « Les neutrinos défient la relativité », *Reflète de la Physique*, **27** (décembre 2011), pp.18-19.
- 2• Des corrections relativistes sont alors nécessaires. Voir : A. Tarantola *et al.*, "Gravimetry, Relativity, and the Global Navigation Satellite Systems", arXiv:0905.3798v3 (mai 2009).
- 3• K. Chadan et P.C. Sabatier, *Inverse Problems in Quantum Scattering Theory*, Springer-Verlag (1977).
- 4• G. Backus et F. Gilbert, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **13** (1967) 247-276.
- 5• A. Tarantola, *Inverse problem theory and methods for model parameter estimation*, SIAM (2005). Tarantola y insiste sur la nécessité de rendre les résultats insensibles au choix de la paramétrisation. On doit pouvoir traiter de façon identique la recherche de la vitesse ou celle de la longueur des ondes, de la masse ou du volume spécifiques...
- 6• A. Tarantola et B. Valette, "Inverse Problems = Quest for Information", *J. Geophys.*, **50** (1982) 159-170.

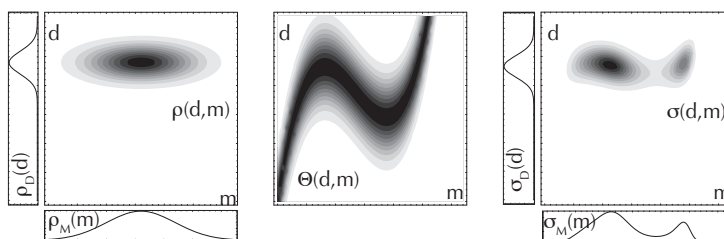
► L'approche probabiliste d'Albert Tarantola

encadré 3

On dispose au départ d'une loi de probabilité $\rho_D(\mathbf{d})$ sur les observables \mathbf{d} et de l'information *a priori* sur le modèle \mathbf{m} avant d'appliquer le processus d'inversion (par exemple : paramètres compris entre certaines valeurs), représentée par une loi de probabilité $\rho_M(\mathbf{m})$. Données et paramètres étant indépendants, l'information *a priori* qu'on a sur le système est représentée par la loi produit : $\rho(\mathbf{d}, \mathbf{m}) = \rho_D(\mathbf{d}) \rho_M(\mathbf{m})$.

Dans le problème direct, on dispose d'une théorie qui donne \mathbf{d} connaissant \mathbf{m} . Cette théorie peut également n'être connue qu'approximativement – à cause de constantes physiques utilisées (toujours déterminées expérimentalement), ou à cause d'erreurs de modélisation (par exemple, modèle sphérique pour la Terre aplatie) – et doit donc aussi être représentée par une loi de probabilité $\Theta(\mathbf{d}, \mathbf{m})$. En combinant ces deux états d'information indépendants, on obtient la probabilité résultante sur les données : $\rho_D(\mathbf{d}) = \Theta(\mathbf{d}, \mathbf{m}) \cdot \rho_M(\mathbf{m})$.

L'observation conduit à la définition de la loi $\sigma_D(\mathbf{d})$. La solution du problème inverse est donnée par : $\sigma_M(\mathbf{m}) = \Theta(\mathbf{d}, \mathbf{m}) \cdot \sigma_D(\mathbf{d})$. L'information *a posteriori* qu'on a sur le système est représentée par la loi produit : $\sigma(\mathbf{d}, \mathbf{m}) = \sigma_D(\mathbf{d}) \sigma_M(\mathbf{m})$.



Combinaison des distributions sur les données et les modèles avec celle de la théorie (figure 1.12 de l'ouvrage de Tarantola [5]). Les valeurs de gris correspondent à la valeur du produit.

- À gauche : $\rho_D(\mathbf{d})$ et $\rho_M(\mathbf{m})$ représentent respectivement l'information sur la donnée \mathbf{d} et celle *a priori* sur le paramètre \mathbf{m} . $\rho(\mathbf{d}, \mathbf{m})$ représente l'information produit.
- Au centre : $\Theta(\mathbf{d}, \mathbf{m})$ représente la relation théorique entre \mathbf{d} et \mathbf{m} , avec les erreurs associées.
- À droite : $\sigma(\mathbf{d}, \mathbf{m})$ représente la combinaison des informations *a priori* et de l'information théorique. On en déduit les probabilités marginales $\sigma_D(\mathbf{d})$ et $\sigma_M(\mathbf{m})$. On voit en quoi la connaissance du modèle a été améliorée grâce aux données utilisées. Deux types de solutions apparaissent possibles.



© CERN / Maximilian Brice / Anna Panigola

Centre de calcul du CERN.

Les expériences ATLAS et CMS au LHC viennent d'annoncer indépendamment la découverte d'une nouvelle particule de masse proche de 126 GeV dont tout laisse à penser qu'il s'agit du boson de Higgs, le chaînon manquant du « modèle standard » de la physique des particules. Les deux expériences observent des signaux dans deux modes de désintégration du boson de Higgs, qui, lorsqu'ils sont combinés, conduisent à une signification statistique de 5 déviations standard dans chacune des deux expériences. Bien que les signaux soient compatibles avec les prédictions théoriques pour le boson de Higgs standard, il est trop tôt pour conclure sur la nature exacte de la nouvelle particule.

Découverte du boson de Higgs au LHC ?

Lucia di Ciaccio⁽¹⁾ (lucia.di.ciaccio@cern.ch)

et **Gautier Hamel de Monchenault**⁽²⁾ (gautier.hamel.de.monchenault@cern.ch)

(1) Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules, CNRS et Université de Savoie, BP 110, 74941 Annecy-le-Vieux Cedex, membre de l'expérience ATLAS.

(2) Service de Physique des Particules, Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers, CEA/Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, membre de l'expérience CMS.

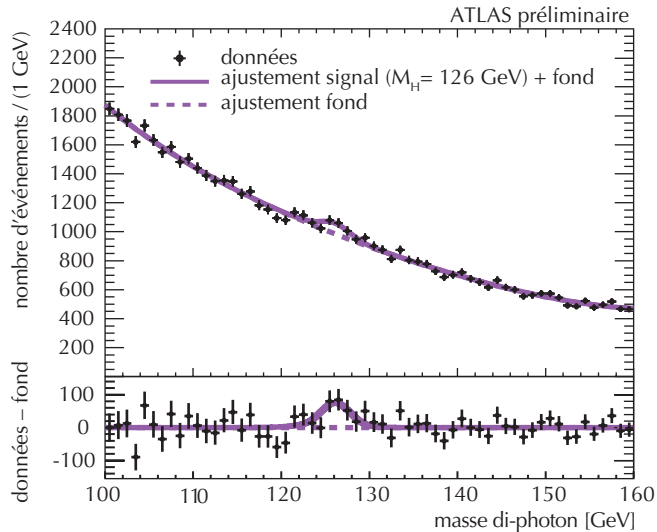
On se souvient que l'analyse des données du LHC enregistrées jusqu'à fin 2011 à 7 TeV d'énergie des collisions proton-proton par ATLAS et CMS, avait révélé, dans le contexte de la recherche du boson de Higgs du modèle standard, un excès d'événements par rapport aux prédictions du même modèle en absence de boson de Higgs [1]. Cet excès était compatible avec la production d'un boson de Higgs de masse dans la région autour de 126 GeV (environ 133 fois la masse du proton), mais avec une signification statistique insuffisante pour exclure la possibilité d'une fluctuation positive des bruits de fond.

Entre le mois d'avril et la fin du mois de juin 2012, ATLAS [2] et CMS [3] ont enregistré et analysé une quantité de données équivalente à celle de 2011, mais correspondant à une énergie des collisions de 8 TeV, plus favorable pour cette recherche. L'analyse préliminaire, rendue publique à

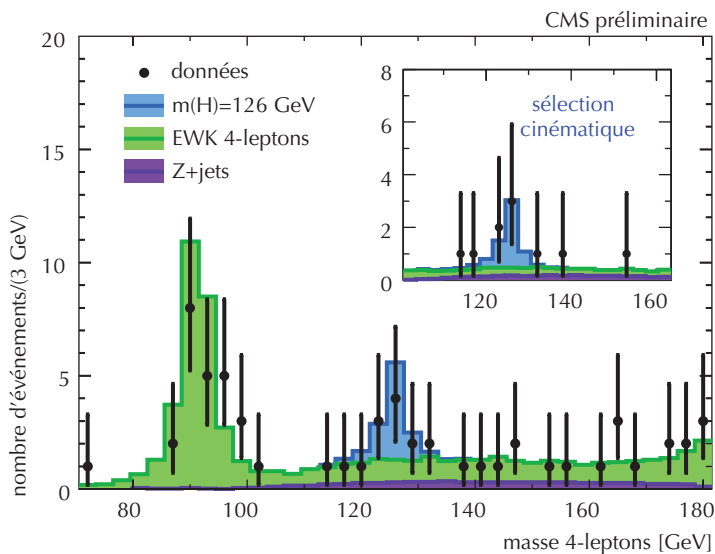
l'occasion d'un séminaire organisé le 4 juillet dernier au CERN, en prélude à la grande Conférence internationale de physique des hautes énergies, ICHEP, qui s'est tenue à Melbourne du 5 au 12 juillet, confirme les observations de 2011 et renforce l'interprétation de l'excès d'événements en termes d'une nouvelle particule avec une masse au voisinage de 126 GeV (à peu près la masse d'un atome d'iode). Les résultats préliminaires indiquent qu'il s'agit bien d'un boson, dont les propriétés sont compatibles avec celles du boson de Higgs.

Le mode principal de production du boson de Higgs au LHC résulte, dans la collision proton-proton, de l'interaction entre deux gluons de haute énergie, que l'on désigne par l'expression « fusion de gluons ». Le signal est observé avec divers degrés de signification statistique dans différents canaux





1. Spectre de masse di-photon mesuré par ATLAS. Lorsque les deux photons sont issus de la désintégration d'une particule, cette quantité correspond à la masse de la particule. Par conséquent, l'accumulation d'événements autour d'une valeur donnée indique l'existence d'une particule se désintégrant en deux photons. Les événements de bruit de fond donnent lieu à un spectre décroissant. La ligne continue en violet représente le résultat de l'ajustement effectué avec une courbe décrivant le spectre produit par une particule de masse 126 GeV, plus les événements de bruit de fond. La ligne violette en pointillé correspond à une courbe décrivant uniquement le bruit de fond. La figure du bas présente la même distribution, après soustraction du niveau de bruit de fond. On observe un excès d'événements par rapport au bruit de fond, autour d'une masse de 126 GeV. La signification statistique de l'excès au voisinage de 126 GeV est de 4,5 déviations standard.



2. Spectre de masse quatre-leptons mesuré par CMS pour des masses comprises entre 70 et 180 GeV, par intervalles de 3 GeV. Le spectre regroupe tous les événements dans les modes $(ee)(ee)$, $(\mu\mu)(\mu\mu)$ et $(ee)(\mu\mu)$, où (ee) représente une paire électron-positon et $(\mu\mu)$ une paire de muons, de charges opposées. La masse du système quatre-leptons est calculée à partir des énergies et impulsions mesurées des leptons identifiés dans l'état final. Lorsque les leptons sont les produits de la désintégration d'une particule, la masse quatre-leptons correspond à la masse de la particule. Le bruit de fond irréductible, dit électrofaible (EWK), est obtenu par la simulation ; il est représenté par un histogramme vert. On observe un pic autour de 91 GeV qui correspond à la désintégration rare du boson Z en quatre leptons, ainsi qu'un fond continu qui correspond à la production de paires de bosons Z. Le bruit de fond réductible, dit Z+jets, pour lequel deux des candidats leptons ne proviennent pas de la désintégration d'un boson Z, est représenté par un histogramme violet. On observe un léger excès d'événements par rapport aux bruits de fond, qui est compatible avec le signal attendu (représenté par l'histogramme bleu) pour un boson de Higgs standard de masse 126 GeV. Cet excès subsiste lorsqu'on applique une sélection cinématique, qui permet de réduire davantage le bruit de fond électrofaible par rapport au signal (spectre de masse dans l'encart, avec les mêmes conventions de couleur). La signification statistique du signal observé au voisinage de 126 GeV est de 3,2 déviations standard.



de désintégration du boson de Higgs [*]. Les deux principaux modes de désintégration sont ceux qui conduisent à la mesure la plus précise de la masse du boson. Il s'agit de la désintégration en deux photons (fig. 1) et de la désintégration en quatre leptons (électrons et muons) par l'intermédiaire de deux bosons Z (fig. 2). ATLAS et CMS ont étudié également d'autres modes de production et de désintégration. Ces modes additionnels sont plus complexes à analyser, en raison de la présence de neutrinos dans l'état final ou de bruits de fond importants. Pour cette raison, les résultats 2012 présentés par ATLAS dans le séminaire du 4 juillet concernent uniquement les deux modes de désintégration principaux. CMS a présenté en plus des résultats dans les canaux de désintégration en paires de bosons W, de leptons τ ou de quarks b, pour différents modes de production.

Pour chacune des deux expériences, la combinaison de tous les canaux publiés en 2011 et des canaux présentés en séminaire en 2012 conduit à la même signification statistique locale de cinq écarts standards autour de la même masse, $M_H \sim 126$ GeV. Cela signifie que chaque expérience estime indépendamment que la probabilité pour qu'une fluctuation des bruits de fond conduise à un excès égal ou supérieur à l'excès observé est de l'ordre de trois sur dix millions.

Il est intéressant de noter que l'analyse des données de 2012 a été effectuée à l'aveugle : la région de masse correspondant à l'excès observé en 2011 a été intentionnellement masquée, pour éliminer les risques de biais dans les phases d'optimisation des performances des analyses et de détermination des incertitudes systématiques.

Les résultats de l'analyse des données enregistrées jusqu'en juin 2012 et incluant des canaux additionnels plus complexes, ont été soumis pour publication environ un mois après le séminaire du 4 juillet [4, 5].

La découverte du boson de Higgs, seule pièce manquante jusqu'alors du modèle standard, couronne plus de deux décennies de recherches auprès d'accélérateurs toujours plus puissants. Cet aboutissement clôt un chapitre, mais en ouvre un nouveau encore plus captivant. Cette nouvelle particule est-elle l'unique boson de Higgs du modèle standard ? Pourrait-il s'agir du premier représentant d'un multiplet de bosons de Higgs tel que le prévoient les modèles supersymétriques [**] ? Les données col-

lectées par les deux expériences jusqu'à la fin de l'année 2012 apporteront des éléments de réponse, mais ce sont les mesures de précision effectuées au LHC dans les années à venir qui permettront de conclure sur la nature de cette nouvelle particule et, peut-être, de révéler la voie d'une nouvelle physique. Il y a, en effet, de fortes raisons théoriques de penser que le modèle standard n'est pas la théorie ultime, mais seulement la manifestation à basse énergie d'une théorie plus fondamentale (à l'instar de la mécanique classique par rapport aux théories de la relativité et de la mécanique quantique).

Le champ de recherches ainsi ouvert avec l'étude des propriétés de cette nouvelle particule observée par ATLAS et CMS est passionnant. Cette découverte majeure dans l'histoire des sciences marque, pour les années à venir et bien au-delà, le début d'un programme de physique extrêmement riche pour les expériences installées auprès du LHC ou d'accélérateurs futurs. ■

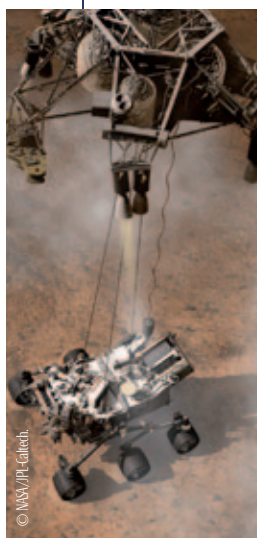
[*] Parmi le million de milliards de collisions inélastiques proton-proton à 7 et 8 TeV qui se sont produites au cœur des détecteurs ATLAS et CMS au rythme de 600 millions par seconde, seulement 200 000 bosons de Higgs de masse égale à 126 GeV auraient été créés. Ces bosons de Higgs se désintègrent instantanément, dans la grande majorité des cas selon des modes impossibles à distinguer des bruits de fond, et qui souvent ne déclenchent même pas l'enregistrement de l'événement. Pour une masse du boson de Higgs de 126 GeV, les désintégrations en deux photons détectables correspondent à moins de 0,1% des désintégrations du boson de Higgs ; les désintégrations ZZ en quatre leptons détectables sont encore 20 fois moins nombreuses.

[**] La supersymétrie regroupe une classe de modèles qui prolongent le modèle standard en postulant une symétrie entre bosons et fermions dans le but, entre autres, de rendre naturelle la masse relativement basse du boson de Higgs. Alors que dans le modèle standard ce dernier est unique, les modèles supersymétriques prédisent l'existence d'au moins cinq bosons de Higgs, dont plusieurs sont chargés. Dans certains de ces modèles, le boson de Higgs neutre le plus léger aurait des propriétés proches de celles du boson de Higgs du modèle standard.

Références

1. L. di Ciaccio et G. Hamel de Monchenault, « Derniers résultats sur la recherche du boson de Higgs au LHC », *Reflets de la physique* 28 (2012) 15-17.
2. ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2012-093, <http://cdsweb.cern.ch/record/1460439>
3. CMS Collaboration, CMS-PAS-HIG-12-020, <http://cdsweb.cern.ch/record/1460438>
4. L'article d'ATLAS : <http://arxiv.org/abs/1207.7214>
5. L'article de CMS : <http://arxiv.org/abs/1207.7235>

Deux instruments développés par la France, embarqués par le robot Curiosity sur Mars



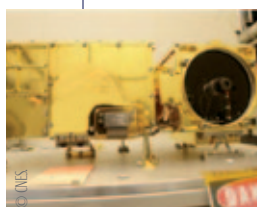
Atterrissage du robot Curiosity sur Mars (vue d'artiste).

Le robot ("rover") Curiosity de la mission Mars Science Laboratory (MSL, voir *Reflets de la physique* n°30, p. 9) s'est posé sur le sol de la planète rouge le 6 août 2012, à 7 h 31, heure française.

La mission MSL, sous la responsabilité de la NASA, peut commencer son travail d'exploration et d'analyse, afin de déterminer si les conditions propices au développement de la vie sur la planète Mars ont été un jour réunies. 85 kg de matériel scientifique et 10 instruments sont embarqués, dont deux expériences préparées par des laboratoires français en partenariat avec le CNES.

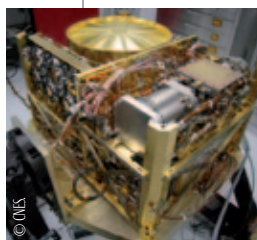
Curiosity aura deux ans pour explorer le sol et l'atmosphère de Mars autour de son point d'atterrissage au pied du mont Sharp, montagne de 5,5 km au centre du cratère Gale, large de 154 km. C'est dans cette région que les sondes martiennes ont détecté la présence de minéraux hydratés tels des argiles, indiquant que de l'eau liquide, milieu indispensable au développement de la vie, a coulé sur la planète.

Pour le CNES et ses partenaires, l'implication française est double. Il s'est agi de participer à la conception et la réalisation technique des instruments embarqués, ChemCam et SAM, et de procéder désormais aux opérations à la surface de Mars en temps réel. L'agence spatiale française assure la maîtrise d'ouvrage de la contribution française à MSL. Scientifiques et ingénieurs piloteront ensemble ChemCam et SAM, en particulier depuis un centre de mission basé au centre du CNES à Toulouse, le FIMOC.



L'instrument ChemCam.

L'instrument ChemCam analysera par spectrométrie la lumière d'un plasma issu d'un tir laser sur des roches martiennes situées entre 2 et 7 mètres autour du rover. Il est placé sous la responsabilité scientifique du Los Alamos National Laboratory aux USA et la coresponsabilité de l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie à l'Observatoire Midi-Pyrénées à Toulouse (IRAP, CNRS et Université Paul Sabatier).



La suite instrumentale SAM.

La suite instrumentale SAM réalisera des analyses des roches, du sol et de l'atmosphère, afin de rechercher les composés chimiques liés au carbone, y compris le méthane, et associés à la vie. Elle est placée sous la responsabilité du centre NASA Goddard Space Flight Center. Les laboratoires français LATMOS (UMR 8190) et LISA (UMR 7583) de l'Institut Pierre Simon Laplace, ont fourni le chromatographe en phase gazeuse, l'un des trois instruments de la suite SAM, et en assurent la coresponsabilité scientifique.

En savoir plus

Sur le déroulement de la mission : <http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl/>
 Sur l'instrument ChemCam : www.msl-chemcam.com
 Sur la suite instrumentale SAM : <http://sam.projet.latmos.ipsl.fr>

Quelques faits saillants de la conférence **Neutrino 2012**

François Vannucci (vannucci@in2p3.fr)

Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

Comme tous les deux ans, la communauté des physiciens des neutrinos s'est réunie pendant une semaine, lors de la « Conférence internationale sur la physique et l'astrophysique des neutrinos », tenue au début du mois de juin à Kyoto, l'ancienne capitale impériale du Japon. Cette conférence a réuni 630 physiciens, battant le record établi par Paris en 2004 avec 540 participants.

Quoi de neuf ?

L'objet d'une conférence est toujours de faire le point sur les résultats expérimentaux récents, discuter les nouvelles idées théoriques en vogue et permettre aux physiciens de la spécialité de se rencontrer pour commenter l'actualité et envisager les axes futurs de recherche.

Ce fut globalement une conférence de très bon cru. À dire vrai, aucune annonce inattendue ne suscita un enthousiasme palpable – internet est plus rapide – mais les nombreux résultats présentés ont permis de préciser de manière décisive le tableau d'ensemble qu'on a des neutrinos.

La conférence débuta par un exposé de J. Steinberger, Prix Nobel 1988 pour la découverte du deuxième type de neutrinos, celui associé au muon. L'année présente marque le cinquantenaire de l'expérience honorée, et il est bon de se pencher sur les grands événements qui ont jalonné l'histoire. L'orateur rappela quelques expériences fondatrices du temps où les mesures se satisfaisaient d'un appareillage tenant sur une paillasse de laboratoire ; la préhistoire avait ses vertus.

Comme dans toute conférence, il existe des sujets « chauds » et d'autres qui le sont moins. La vitesse des neutrinos, qui fit tant de bruit dans les médias à l'automne dernier [1], appartenait évidemment à la première catégorie, même si tous les participants connaissaient à l'avance la conclusion de cet intermède peu glorieux. Quatre expériences différentes ont clos la parenthèse : les neutrinos ne sont pas plus rapides que la lumière, la théorie de la relativité est sauve. La collaboration OPERA, qui mit le feu aux poudres, présenta de nouvelles données obtenues avec un faisceau de

neutrinos aux caractéristiques optimisées venant du CERN ; elle réévalua également la vitesse déduite des données précédentes, après avoir identifié une malheureuse erreur de connexion au niveau d'un instrument de mesure. Le résultat final ne révèle aucune déviation par rapport à la vitesse de la lumière. Trois autres expériences, voisines d'OPERA dans le tunnel du Gran Sasso, ont enfoncé le clou : Borexino, Icarus et LVD ont toutes mesuré une vitesse en accord avec l'orthodoxie. Quel enseignement doit-on tirer de cet irritant épisode ? Les neutrinos ont bien sûr profité d'une audience inespérée, et cela est positif, mais cet avantage fut obtenu par une sorte d'effraction. L'éthique a été respectée dans la procédure d'analyse des données et on comprend que devant un résultat qui aurait annoncé une révolution intellectuelle de première grandeur, on se sente comme la poule devant le couteau. Pourtant, il reste pour la communauté un parfum d'honneur perdu. On peut s'étonner d'un retentissement planétaire qui ne se serait pas propagé sans l'assentiment de certains. La communication a manqué de prudence. Malgré tout, l'anomalie n'aura duré que six mois, ce qui est fort peu à l'aune des temps caractéristiques que réclament les expériences neutrinos. Dont acte.

L'angle θ_{13} , enfin !

Mais le résultat de physique le plus important vint de la discussion du dernier angle de mélange entre neutrinos. Les états propres des interactions, ν_e , ν_μ et ν_τ , diffèrent des états propres de propagation appelés ν_1 , ν_2 et ν_3 , et ceci donne lieu au phénomène d'oscillations, c'est-à-dire la mutation spontanée d'un type de neutrino en un autre. Une matrice de mélange 3×3 , fondée sur trois angles, relie les deux

[1] F. Vannucci, *Reflets de la physique* 27 (décembre 2011 - janvier 2012) 18-19.

(1) www.laguna-science.eu/



1. Le détecteur Double Chooz, en phase de mise au point.

ensembles d'états. Deux de ces angles sont connus : θ_{12} grâce aux neutrinos du Soleil, et θ_{23} grâce à ceux produits par les rayons cosmiques dans l'atmosphère. Le troisième angle, θ_{13} , restait inconnu. En un beau tir groupé, trois expériences montées auprès de réacteurs nucléaires ont présenté des résultats concordants mesurant la disparition de neutrinos en fonction de la distance à la source. La première à dégainer fut Double Chooz, située dans les Ardennes françaises (fig. 1). L'annonce fut dévoilée dès l'automne 2011. Puis l'expérience chinoise Daya Bay suivie de près par l'expérience coréenne RENO, fournirent des résultats plus précis durant le printemps. Notons qu'une première indication vint à l'été 2011 d'une expérience japonaise T2K, mesurant de manière complémentaire l'apparition de ν_e dans un faisceau de ν_μ . Les mesures s'avèrent en accord et indiquent un angle de mélange d'environ 9 degrés, ce qui fait pousser un ouf ! de soulagement pour la suite des opérations. Aucune prédiction ne fixe cet angle, qui aurait pu se révéler beaucoup plus petit et inaccessible aux expériences en cours. Ceci aurait nécessité un nouveau *round* d'appareillages plus ambitieux.

Ce résultat est important, du fait qu'il ouvre la voie pour attaquer la violation de CP dans le secteur des leptons. CP associe la symétrie C faisant passer d'une particule à son antiparticule et la symétrie de parité P, image dans un miroir. Ce phénomène, qu'on espère détecter par des probabilités d'oscillations différentes entre neutrinos d'une part et antineutrinos d'autre part, peut sembler technique, mais il est invoqué pour comprendre la disparition de l'antimatière dans l'évolution de l'Univers. C'est donc un sujet d'importance majeure dans la liste des énigmes encore à résoudre.

Un autre sujet « chaud » est celui de l'anomalie constatée dans le flux mesuré de neutrinos de réacteurs (et de sources radioactives) par rapport aux calculs. D. Lhuillier (Irfu-Saclay) présenta une réévaluation de nombreux résultats passés. Une étude très minutieuse montre que, depuis les années 1980, beaucoup d'indications pointent vers un déficit systématique des flux observés par rapport aux prédictions. Au final, 7% des neutrinos semblent disparaître entre les points de production et de détection. Ceci pourrait indiquer un effet nucléaire caché, mais une hypothèse plus osée propose l'existence de nouveaux neutrinos, comme discuté par T. Lasserre (Irfu-Saclay et APC, Paris 7). On les appelle « neutrinos stériles », parce qu'ils ne participent pas aux interactions faibles et ne se couplent aux particules connues que par mélange. En fait, la théorie prédit de tels états, mais on les attend dans un domaine de masses très élevées pratiquement inaccessible ; or, ici, il s'agit de masses permettant une recherche expérimentale rapide. Plusieurs projets sont en discussion pour clarifier le problème.

L'astronomie des neutrinos

Un autre résultat potentiellement de grand retentissement fut présenté. Un détecteur géant nommé IceCube, consistant en un kilomètre cube de glace instrumenté au Pôle Sud, a montré les premiers signaux de neutrinos de très haute énergie. Jusqu'à présent, IceCube et son concurrent Antarès construit au fond de la Méditerranée près de Toulon n'avaient détecté que des neutrinos attribuables à une production dans l'atmosphère. Celle-ci est effectivement la contribution majeure jusqu'à des énergies de 10^5 TeV, dépassant d'un facteur 10 000

celles obtenues par le collisionneur LHC. Les deux événements enregistrés à une énergie encore plus élevée indiqueraient une origine extraterrestre, ce qui pourrait ouvrir l'étude d'objets astrophysiques à l'aide des neutrinos.

Perspectives

Quand la communauté se retrouve, elle ne manque pas de parler des perspectives. C'est l'avantage du programme de recherche en neutrinos : avoir une feuille de route bien balisée. Maintenant que θ_{13} est mesuré, il s'agit en premier lieu de fixer l'échelle absolue des trois masses de neutrinos et leur ordonnancement ; puis on s'attaquera à la violation de CP, ce qui constitue le Graal de la discipline. Il est assez facile d'imaginer les expériences nécessaires. Elles seront encore plus ambitieuses que les présentes, mais leurs tailles restent dans le domaine du réalisable. On parle de détecteurs atteignant 100 kilotonnes ou une mégatonne. Ainsi, l'Europe se fédère autour d'un programme appelé LAGUNA⁽¹⁾, qui propose d'envoyer des neutrinos du CERN vers une mine finlandaise à 2300 km de distance. Le projet se chiffre en milliards d'euros, les physiciens des neutrinos ont du travail pour les 20 années à venir !

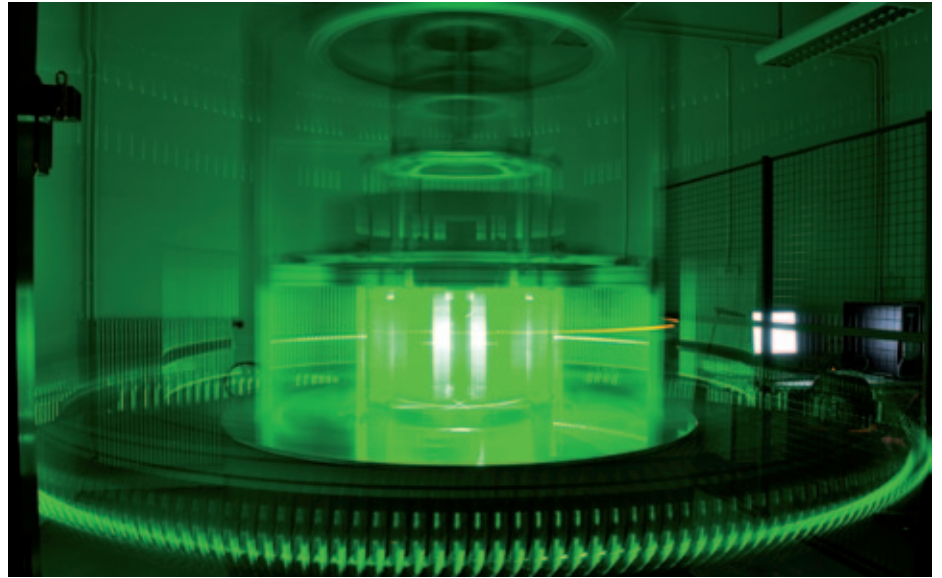
Au sortir de cette conférence, on en sait donc plus sur les neutrinos, et rendez-vous est pris pour la prochaine édition, en juin 2014 à Boston. Ce sera une étape supplémentaire sur le chemin de Zurich, déjà proposé comme site de la rencontre en 2030 pour célébrer le centenaire de la fameuse lettre de W. Pauli suggérant l'existence d'une particule invisible, que trois ans plus tard E. Fermi baptisa du joli nom de neutrino. ■

Un pendule de Foucault fluide

Jean Boisson, David Cébron, Frédéric Moisy (moisy@fast.u-psud.fr)
et Pierre-Philippe Cortet
Laboratoire FAST, Université Paris-Sud, UPMC, CNRS UMR 7608, 91405 Orsay

Nous avons tous entendu dire que le sens de rotation du tourbillon au fond d'un lavabo qui se vide est différent selon que l'on observe ce phénomène dans l'hémisphère nord ou sud. Mais tenter vraiment l'expérience est autrement plus instructif – et décevant – que de se contenter de répéter cette histoire... À l'échelle d'un lavabo, la rotation de la Terre se mesure en microns par seconde, et aura toutes les chances d'être masquée par un quelconque mouvement résiduel de l'eau.

Observer sans tricher ce phénomène bien réel reste néanmoins possible, à condition d'être très minutieux et de disposer d'une expérience extrêmement bien contrôlée [1].



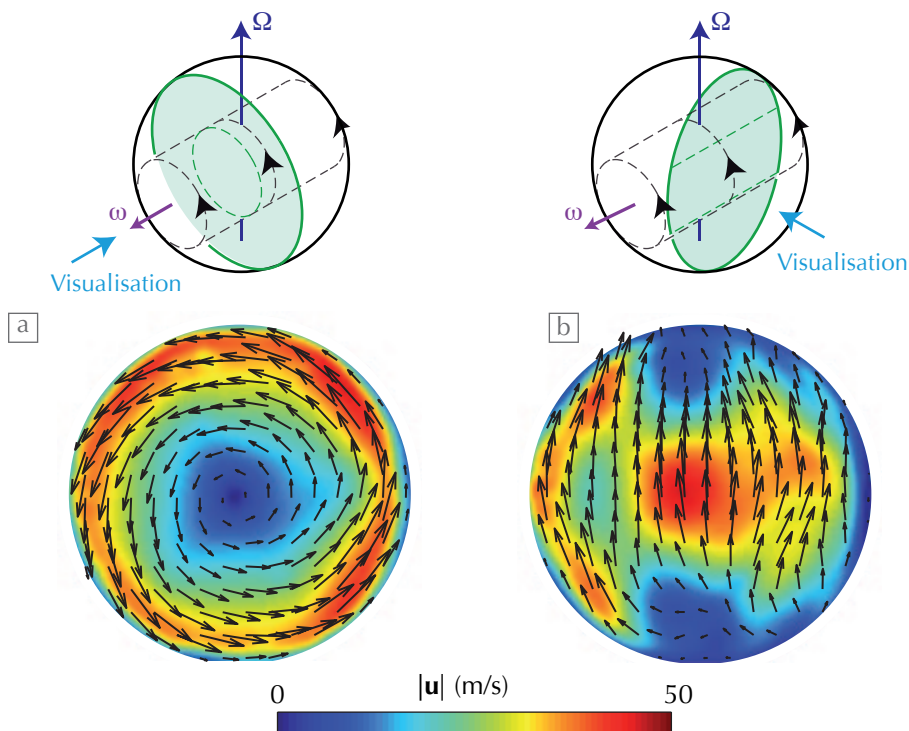
1. La plateforme tournante Gyroflow, installée au laboratoire FAST (Orsay), photographiée ici avec un temps de pause de 10 s. Au centre de la plateforme est disposée une sphère remplie d'eau, mise en rotation à vitesse angulaire Ω . Un système de vélocimétrie par images de particules, embarqué dans le référentiel tournant, permet de mesurer l'écoulement secondaire induit par la rotation de la Terre.

De telles expériences de mécanique des fluides sensibles à la rotation de la Terre ne sont pas fréquentes – on peut les considérer comme des analogues fluides du célèbre pendule de Foucault. L'expérience réalisée récemment au Laboratoire FAST à Orsay est conceptuellement la version la plus simple d'un tel pendule de Foucault fluide [2]. Une sphère en verre d'environ 20 cm de diamètre, remplie d'eau, est mise en rotation à une vitesse angulaire Ω constante de quelques tours par minute (fig. 1). Après un régime transitoire de mise en rotation de l'eau par le frottement visqueux entre les couches de fluide (de l'ordre d'une dizaine de minutes [3]), on s'attend naturellement à ce que l'eau tourne exactement à la vitesse angulaire de la sphère. Mais, surprise : même après plusieurs heures, l'eau refuse de tourner à la bonne vitesse ! On détecte dans le référentiel tournant à la vitesse Ω la présence d'un écoulement secondaire très faible, de l'ordre de quelques dizaines de microns par seconde (fig. 2). Il s'agit en fait d'un tourbillon résiduel d'axe horizontal, fixe dans le référentiel du laboratoire (approximativement orienté selon

une ligne Est-Ouest), qui se superpose à l'écoulement de rotation principal imposé par la sphère.

Cet écoulement secondaire a bien pour origine la rotation de la Terre. En effet celle-ci, en imprimant un lent mouvement de précession à l'axe de rotation de la sphère, induit un couple gyroscopique qui défléchit légèrement la trajectoire circulaire du fluide. Ainsi, ce n'est pas directement la vitesse de la Terre qui est détectée, mais un écoulement secondaire résultant de l'équilibre entre ce couple gyroscopique et la friction visqueuse avec la paroi de la sphère. Au final, le fluide tourne autour d'un axe de rotation légèrement incliné par rapport à celui de la sphère, d'un angle de l'ordre de 0,1 degré. Une telle différence aurait évidemment été trop faible pour être mesurée directement depuis le référentiel du laboratoire. Mais, dans le référentiel tournant, la rotation principale se trouve naturellement soustraite, et la différence entre ces deux composantes de rotation apparaît sous forme d'un tourbillon horizontal résiduel d'axe fixe par rapport au laboratoire.

De façon remarquable, de tels écoulements induits par précession sont omniprésents dans le noyau liquide des planètes, ainsi que dans les océans piégés sous des calottes de glace que l'on rencontre dans certains satellites. Par exemple, l'axe de rotation de la Terre, incliné d'environ 23 degrés par rapport au plan de l'écliptique, effectue lui-même un mouvement de précession autour d'un axe fixe avec une période d'environ 26 000 ans (précession des équinoxes). Il en résulte un écoulement secondaire dans le noyau liquide, analogue à celui observé dans l'expérience. L'influence de tels mécanismes sur la dynamique du noyau, notamment dans la génération et l'évolution du champ magnétique terrestre, fait l'objet aujourd'hui d'importants débats. Ainsi, cette simple expérience fournit un modèle réduit saisissant des écoulements complexes présents en géophysique et en astrophysique ! ■



Références

1. A.H. Shapiro, "Bath-tub vortex", *Nature* **196** (1962), 1080.
2. J. Boisson *et al.*, "Earth rotation prevents exact solid body rotation of fluids in the laboratory", *EPL* **98** (2012), 59002.
3. É. Guyon *et al.*, *Hydrodynamique Physique*, EDP Sciences (2001).

2. Visualisation de l'écoulement induit par la rotation de la Terre, mesuré par vélocimétrie par images de particules dans un plan vertical dans le référentiel tournant. Les schémas du haut montrent la sphère qui tourne autour de l'axe Ω (en indigo), tandis que l'écoulement secondaire induit par précession est un tourbillon horizontal d'axe ω (en violet), fixe dans le référentiel du laboratoire. Le plan de mesure est indiqué en vert. Les images du bas montrent deux vues instantanées de ce tourbillon secondaire, autour duquel tourne le dispositif de mesure (les flèches et la couleur montrent la direction et le module de la vitesse locale du fluide).
(a) Vue de face, montrant une rotation dans le sens antihoraire.
(b) Vue de côté, montrant un écoulement montant (le plan de mesure est décalé par rapport à l'axe de rotation).

La Société Française de Physique présente Physique et Interrogations Fondamentales (PIF 13)

Samedi 24 novembre 2012
Bibliothèque Nationale de France, Grand Auditorium, hall est - Quai François Mauriac, 75013 Paris

Les nouvelles lumières Comment la physique continue d'éclairer le monde

Depuis longtemps, la lumière n'est plus notre seule source d'information sur l'Univers. Les physiciens observent le monde au-delà de ce qu'en révèle la lumière. Toutefois, symboliquement, « éclairer le monde » demeure l'ambition de la science. C'est pourquoi les découvertes récentes et les recherches en cours sur les « nouvelles lumières » de la physique sont aussi la source de nouvelles Lumières pour l'esprit.

Programme

9 h 00 – 9 h 30 : Accueil.
9 h 30 – 10 h : Introduction (Étienne Klein, LARSIM-CEA).
Lumière des origines
10 h – 10 h 30 : Herschel (Vincent Minier, SAP-CEA).
10 h 30 – 11 h : Planck (François Bouchet, IAP-CNRS).
Les autres lumières
11 h 15 – 11 h 45 : Neutrinos (Daniel Vignaud, APC-CNRS).
14 h – 14 h 30 : Café-rencontre avec les orateurs dans le foyer de l'auditorium.

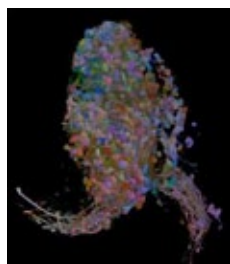
Les nouvelles lumières
14 h 30 – 15 h : Synchrotron (Loïc Bertrand, IPANEMA, SCC-CNRS).
15 h – 15 h 30 : Lasers (Anne L'Huillier, Université de Lund).
Les fausses lumières
15 h 45 – 16 h 15 : Science et mysticisme (Yves Gingras, CIRST-UQAM).
La gouvernance éclairée
16 h 15 – 18 h : Table ronde animée par Vincent Bontems (LARSIM-CEA)

L'entrée est libre et gratuite, sur inscription préalable à partir de la mi-septembre sur le site web (<http://sfp.in2p3.fr/CP/pif/fren13.htm>).
L'inscription à l'accueil le jour même ne sera possible que dans la limite des places disponibles.

La microscopie biphotonique passe à la couleur

Extrait du communiqué de presse du CNRS (INP/INSB) du 10 juillet 2012

Imagerie 3D multiphoton multicolore d'un échantillon épais et vivant de moelle épinière d'embryon de poulet marquée. Échelle de l'image : 400 μm \times 500 μm .



La microscopie multiphoton ne permettait pas jusqu'à présent d'effectuer une imagerie « en couleurs », c'est-à-dire d'observer simultanément trois marqueurs différents (par exemple bleu, vert et rouge). C'est ce qu'une technique, développée par des biologistes et physiciens de l'Inserm et du CNRS, permet de faire aujourd'hui.

Des travaux publiés par les équipes d'Emmanuel Beaufrepaire (LOB)^(a), de Jean Livet (Institut de la Vision)^(b) et de Xavier Morin (IBENS)^(c), démontrent une nouvelle stratégie de microscopie biphotonique multicolore adaptée à l'observation en profondeur (> 100 μm) de tissus biologiques intacts marqués avec des chromophores distincts, par exemple des protéines fluorescentes de couleurs différentes [1].

Dans le domaine de la recherche biomédicale, cette avancée va permettre d'étudier l'architecture et le développement de structures multicellulaires complexes telles que le système nerveux central ou l'embryon en développement, en visualisant simultanément plusieurs paramètres au sein du tissu.

Les chercheurs du LOB ont appliqué cette approche pour visualiser « en couleurs » et en profondeur le développement d'embryons de drosophile, ainsi que le cerveau ou la moelle épinière de souris et d'embryons de poulet, marqués avec la stratégie de marquage transgénique multicolore développée par les équipes de l'Institut de la Vision et de l'IBENS. La nouvelle méthode d'imagerie facilite la reconstruction tridimensionnelle et le suivi dynamique des systèmes étudiés. Il devient possible de visualiser à grande échelle sur un critère de couleur l'agencement des cellules neurales et gliales dans le cerveau, ou les filiations cellulaires dans l'embryon en développement.

Référence

[1] P. Mahou *et al.*, "Multicolor two-photon tissue imaging by wavelength mixing", *Nature Methods* **9** (2012) 815-818.

(a) Laboratoire d'optique et biosciences (LOB, UMR 7645 École polytechnique/CNRS/INSERM).

(b) Institut de la Vision (CNRS/UPMC/INSERM).

(c) Institut de Biologie de l'École normale supérieure (ENS/CNRS/INSERM).

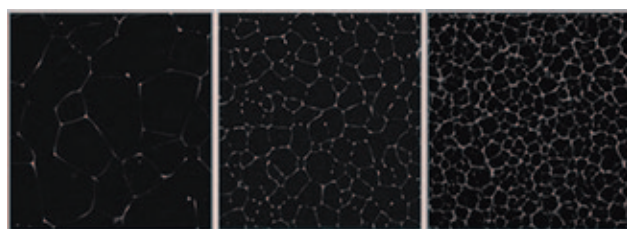
Contact

Emmanuel Beaufrepaire (emmanuel.beaufrepaire@polytechnique.edu)

Contrôler la croissance et la texture d'un polycristal modèle

Actualité scientifique de l'Institut de Physique du CNRS du 3 juillet 2012

Visualisation par microscopie confocale de la texture de polycristaux colloïdaux.



Les propriétés mécaniques macroscopiques de la plupart des métaux et céramiques sont déterminées par la taille et l'organisation des grains cristallins qui les composent. Pour comprendre les mécanismes mis en jeu, des physiciens de Montpellier^(a) viennent de mettre au point expérimentalement des cristaux modèles à base de polymère et de nanoparticules.

Parce que ces matériaux sont beaucoup plus mous que les polycristaux habituels, leur déformation sous l'effet d'une contrainte faible peut être facilement mesurée. En outre, la transparence des échantillons permet d'observer les structures avec des techniques de microscopie standard.

Les chercheurs ont choisi un polymère qui s'auto-assemble dans l'eau en formant des micelles sphériques. Lorsque la concentration en micelles est suffisamment grande, celles-ci s'arrangent sur un réseau cristallin, à l'instar des atomes dans un métal. En jouant sur la vitesse de passage de la phase fluide à la phase solide, les chercheurs ont démontré que l'on peut contrôler la texture de l'échantillon. De plus, ils ont ajouté quelques pourcents de nanoparticules fluorescentes. Une visualisation par microscopie confocale lors de la croissance de la phase cristalline montre que les nanoparticules sont expulsées de cette dernière à mesure qu'elle croît, et se concentrent dans les joints de grains, ce qui permet une visualisation tridimensionnelle de la structure du matériau formé [1].

En adaptant des théories existantes, l'équipe a expliqué et modélisé comment la vitesse d'augmentation de la température et la concentration en nanoparticules contrôlent la taille moyenne des grains du polycristal. Les observations expérimentales montrent des analogies fascinantes avec certaines propriétés des métaux. On peut donc considérer ces matériaux originaux comme des analogues colloïdaux d'alliages métalliques.

(a) Laboratoire Charles Coulomb (L2C, UMR 5221, CNRS/Université de Montpellier 2).

Contact

Laurence Ramos (laurence.amos@univ-montp2.fr)

Référence

[1] N. Ghofraniha *et al.*, "Grain refinement and partitioning of impurities in the grain boundaries of a colloidal polycrystal", *Soft Matter* **8** (2012) 6214-6219

Le prix Jeanne Villepreux-Power

Un prix régional pour des jeunes filles scientifiques du Limousin

Le prix Jeanne Villepreux-Power est proposé par la mission « Égalité des chances » du rectorat de l'académie de Limoges⁽¹⁾ et Récréasciences-CCSTI Limousin, avec le soutien de l'association Femmes et Sciences, de la Société Française de Physique, et de l'Europe.



De gauche à droite :
Annick Morizio (Vice-Présidente du Conseil général de la Haute-Vienne), Mathilde Rousset (lauréate), Dr. Vast (président de l'Aquarium du Limousin), le père de Marion Toutant (lauréate), Anne-Lan (artiste peintre), Ludivine Bouillon (lauréate).

Ce prix est destiné aux jeunes filles de deuxième année des classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques de l'académie de Limoges, sur la base de leur travail développé dans le cadre des TIPE⁽²⁾, en particulier l'intérêt pour le sujet choisi, l'analyse et l'étude scientifique, l'investissement, ainsi que de leur projet personnel et professionnel.

L'idée du Prix « Jeanne Villepreux-Power » est née au cours d'une journée d'information pour les élèves de terminales scientifiques de l'académie de Limoges, « Destination ingénieur-e », organisée conjointement par le rectorat de l'académie de Limoges, l'URIS⁽³⁾-Limousin et l'IESF⁽⁴⁾, au centre Innoval Legrand de Limoges.

C'est à cette occasion que Sophie Rémy, présidente de Récréasciences et de la section locale Limousin de la SFP, a proposé à Sylvie Delage, coordinatrice de la mission académique « Égalité filles garçons », de créer un prix académique destiné à une jeune fille qui effectue des études scientifiques dans la région Limousin. Sylvie Delage se charge de la mise en place et de l'organisation de ce prix.

Après avoir étudié les différents prix déjà existants, il s'est avéré que les classes préparatoires étaient le seul secteur de l'enseignement supérieur scientifique limousin pour lequel aucun prix n'était décerné.

Le nom du prix fait référence à une naturaliste d'origine corrézienne, Jeanne Villepreux-Power (1794-1871), dont la vie s'est partagée entre la Sicile, l'Angleterre et la France (voir encadré).

En 2011, trois jeunes filles du lycée Gay-Lussac de Limoges, Mathilde Rousset, Marion Toutant et Ludivine Bouillon, ont été récompensées d'un chèque de 1000 euros chacune, ainsi que d'une reproduction d'une œuvre d'Anne-Lan.

- (1) www.ac-limoges.fr/article.php3?id_article=6777.
(2) Travaux d'initiative personnelle encadrés.
(3) Union régionale des ingénieurs et scientifiques.
(4) Ingénieurs et scientifiques de France.

Marie Doneda
Responsable Projets de Récréasciences-CCSTI
www.recreasciences.com

► Bref historique de la vie de Jeanne Villepreux-Power (1794-1871)

Née à Juillac en Corrèze, d'origine modeste mais avec un parcours de vie exceptionnel, Jeanne Villepreux-Power possède déjà au 19^e siècle une *dimension européenne*. Mariée à un lord anglais, elle habitera 25 ans en Sicile à Messine. Elle y accomplira des expériences en milieu marin qui l'amèneront à inventer des aquariums de verre et des cages d'observation en bois qui, plongées dans la mer, lui permettront, 20 ans avant Claude Bernard, de se livrer à de véritables sciences expérimentales.

Première femme membre de l'Académie des sciences de Catane, correspondante de la Société zoologique de Londres, de la Société cuvierienne de Paris, de seize sociétés savantes, elle publiera les « Observations et expériences physiques sur plusieurs animaux marins et terrestres », ainsi qu'un guide érudit, *Guida per la Sicilia*, qui fait l'inventaire des richesses naturelles et archéologiques de la Sicile. Ses travaux sur l'argonaute, un mollusque céphalopode, la rendent célèbre dans le milieu scientifique européen. Le grand naturaliste anglais, Sir Richard Owen l'admire et la considère comme la « mère de l'aquariologie ».

Cette pionnière est cependant tombée dans l'oubli et elle n'a que récemment repris naissance lorsque son « découvreur », Claude Arnal, a entrepris de longues recherches qui lui ont permis de faire donner, par l'Union Astronomique Internationale, le nom de Jeanne Villepreux-Power à un très grand cratère de la planète Vénus.

Depuis plusieurs années, l'artiste peintre Anne-Lan contribue grandement à faire connaître cette femme ingénieuse et volontaire à travers de multiples manifestations scientifiques, historiques ou artistiques.

Bibliographie : Claude Duneton, *La dame de l'Argonaute*, Denoël, Paris (2009).



Jeanne Villepreux-Power, vue par Anne-Lan.

Une journée « Science et Médias » au Palais de la découverte

Commission « Culture scientifique » de la Société Française de Physique

Le 9 janvier 2012 s'est tenue, au Palais de la découverte, une journée « Science et Médias, mieux travailler ensemble ». Elle était organisée par la Commission Culture scientifique de la Société Française de Physique (SFP), en partenariat avec l'Association des journalistes scientifiques de la presse d'information (AJSPI).

Le but était de chercher des pistes pour une meilleure collaboration entre ces deux communautés dont l'entente est loin d'être parfaite : les scientifiques se plaignent souvent du manque d'intérêt des médias pour la science, et les journalistes, du fait que les scientifiques sont retranchés dans leur tour d'ivoire.

Il n'était pas prévu de discussion sur l'information scientifique *via* le web.

Nous présentons ci-après un bref compte rendu des trois conférences de la matinée, consacrées à « l'état des lieux », et des trois tables rondes qui ont suivi.

La journée, dont le programme est donné page 27, a rassemblé 170 personnes (hormis les organisateurs), dont environ 50 chercheurs et enseignants-chercheurs, 50 chargés de communication, une trentaine de journalistes et 24 retraités.

► L'AJSPI

Créée en 1955, l'Association des journalistes scientifiques de la presse d'information (AJSPI) est une association sans but lucratif (loi de 1901), qui a pour objet de rassembler les journalistes professionnels spécialisés dans l'information scientifique et technique.

L'Association entend en particulier entreprendre toute action destinée à faire reconnaître sa place à l'information scientifique dans les médias généralistes, et favoriser la meilleure collaboration possible entre chercheurs et journalistes.

Très active en dépit d'une structure légère et bénévole, elle organise des réunions, des débats entre ses membres, des colloques, des rencontres avec des chercheurs, des voyages... dans un climat confraternel et convivial. L'AJSPI est actuellement forte de 250 adhérents (dont 44% de pigistes), représentant 75 médias : presse écrite, radio, télévision, presse Internet... C'est la troisième plus grosse association de journalistes scientifiques d'Europe.

Adresse : 102, avenue des Champs-Élysées, 75008 Paris

Site internet : www.ajspi.com

Conférences, président de séance Daniel Bideau

La première conférence, donnée par **Étienne Mercier**, rendait compte d'une enquête menée pour *La Recherche* et *Le Monde* en juin 2011 sur « Les Français et la science » [1]. La science conserve la confiance du grand public, pour « apporter des solutions aux problèmes rencontrés dans le monde et pour améliorer leur vie ». Cependant, cette confiance dans les scientifiques varie fortement en fonction du domaine, et du risque qui lui est associé. En particulier, sans surprise, le nucléaire est considéré comme un risque d'une extrême gravité et dont la probabilité avérée génère désormais une forte défiance. Les OGM présenteraient un risque non avéré, mais seraient de faible utilité. 86% des personnes interrogées sont persuadées que l'homme a un impact important sur le changement climatique. Enfin, il y aurait de réelles attentes à l'égard de la communauté scientifique pour expliquer les enjeux de la recherche et les débats qu'elle suscite.

La deuxième conférence, de **Robert Nardone**, portait surtout sur la radio et la télévision. Pour ce dernier média, une étude de l'Institut national de l'audiovisuel montre que la science a fait l'objet, en une année, de 570 sujets toutes chaînes confondues, soit trois fois moins que les sports. Les journaux des deux principales chaînes font surtout état de catastrophes naturelles ou d'erreurs médicales. Dans les interviews, on invite peu les gens qui réfléchissent quand ils parlent (car ils sont jugés trop lents). Et les « experts » sont ceux qui sont les plus « radiogéniques » ou « télégéniques », c'est-à-dire presque toujours les mêmes. Le conférencier cite alors une émission « mauvaises ondes » sur FR3, où la publicité avant l'émission était tellement orientée que deux experts pressentis ont refusé d'y participer. Dans la même veine, pour lui, la télévision transmet essentiellement de l'émotion et non de la raison.

Le troisième conférencier était **Pierre-Henri Gouyon**. Pour lui, les scientifiques ont besoin de publier dans des revues reconnues ou des magazines (*Nature*...) et même dans la presse quotidienne, le financement de leur recherche dépendant essentiellement de leur reconnaissance. Il y a souvent dans les articles de presse confusion entre science et technique (les chercheurs insistant eux-mêmes sur les applications potentielles de leurs travaux), et mise en exergue de controverses plus sociales que scientifiques (exemple : les OGM). Le traitement récent de la controverse sur l'origine du changement climatique par les médias n'a pas vraiment favorisé l'honnêteté scientifique, mais plutôt le bruit. Les grandes chaînes publiques devraient avoir un conseil scientifique. Nombre d'informations scientifiques sont biaisées : voir « les marchands de doute »(*) ou les fondations financées par les industriels.

»»»

(*) Marchands de doute : un petit groupe d'« experts indépendants » et de médias naïfs et complaisants, qui discréditent la science et les scientifiques dans le but d'éviter toute réglementation de santé publique ou environnementale. Voir le livre de N. Oreskes et É.M. Conway, *Les marchands de doute*, Éditions Le Pommier (2012).



Science et Médias mieux travailler ensemble

Lundi 9 janvier 2012
de 9h30 à 19h au Palais de la découverte



► Programme de la journée « Science et Médias, mieux travailler ensemble »

- 9h30 – 10h : **Ouverture** par Sophie Bécherel, présidente de l'AJSPI, et Martial Ducloy, président de la SFP
- 10h – 11h30 : **Conférences**
- **Les Français et la science**, par Étienne Mercier, *directeur adjoint du département Opinions de l'IPSOS*
 - **Quelle image de la science les médias véhiculent-ils ?**, par Robert Nardone, *documentariste de la télévision*
 - **Écologie et évolution face aux créationnistes et aux marchands de doute**, par Pierre-Henri Gouyon, *spécialiste en science de l'évolution, professeur au Muséum national d'Histoire naturelle*
- 11h30 – 12h30 : **Table ronde 1**
- **Entre le marteau et l'enclume**, animée par Gérard Torchet (SFP)
Muriel Florin, *formation littéraire, journaliste au Progrès de Lyon*
Yvon Lechevestrier, *ancien journaliste à Ouest-France*
Cécile Michaut, *docteur en chimie, journaliste scientifique à Sciences et Avenir*
- 14h – 15h30 : **Table ronde 2**
- **Témoignages**, animée par Patrick Hesters (France Télévisions)
Nathalie Blanc, *journaliste scientifique à la revue mensuelle Sciences Ouest de l'Espace des Sciences de Rennes*
Roland Lehoucq, *astrophysicien, CEA et École polytechnique*
Jean-François Mathiot, *physicien des particules, CNRS et Université de Clermont-Ferrand*
Stéphanie Meyer-Thomas, *responsable de la communication institutionnelle à l'Université de Strasbourg*
Lydie Valade, *CNRS et Université Paul Sabatier de Toulouse, présidente de la commission « Chimie et Société » de la Fondation de la Maison de la Chimie*
- 16h15 – 17h45 : **Table ronde 3**
- **Mieux travailler ensemble, former et informer**, animée par Guillaume Trap (Palais de la découverte)
Sophie Bécherel, *journaliste généraliste et scientifique à France Inter*
Jean-Michel Courty, *professeur à l'Université Paris 6, conseiller scientifique à l'Institut de Physique du CNRS*
Julien Guillaume, *chef du bureau de presse et directeur adjoint de la communication du CNRS*
Jean Jouzel, *géochimiste au CEA, climatologue, membre du bureau du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)*
Dominique Leglu, *docteur en physique subatomique, directrice de rédaction à Sciences et Avenir*
Bernard Maitte, *cristallographe, historien des sciences, professeur émérite à l'Université de Lille 1*
- 17h45 – 18h : **Conclusion** par Daniel Bideau, *président de la Commission Culture scientifique de la SFP*

>>>

Table ronde « Entre le marteau et l'enclume », animée par Gérard Torchet

Comment choisit-on un sujet à traiter ? Quelles difficultés se présentent et comment s'en sortir ? Trois journalistes témoignent. Un *leitmotiv* : notre métier, c'est informer, nous ne sommes ni des communicateurs ni des médiateurs.

Muriel Florin. Ne pas avoir de formation scientifique est à la fois un handicap, à cause du temps nécessaire à la compréhension, et un avantage, car on est capable de se mettre à la place du lecteur *grand public*.

Dans un quotidien régional, peu ont une seule thématique en charge (contrairement aux quotidiens nationaux). La plupart des journalistes sont répartis selon des secteurs géographiques.

Mon terrain est vaste : études, famille, enfance... Les sciences sont abordées à travers l'aspect recherche : il s'agit de valoriser les avancées obtenues dans la région et d'informer sur l'actualité. Les dinosaures constituent, pour les lecteurs, un sujet qui disposera de plus de place dans le journal que le boson de Higgs, sujet « moins sexy » (terme utilisé dans les rédactions), pour lequel je me suis battue et n'ai obtenu que 800 signes en bas de page...

Une motivation personnelle, c'est la curiosité : « comment ça marche ? ». Poser des questions simples. Par exemple, pendant l'été, « pourquoi les orties piquent »... et trouver des scientifiques pour répondre !

Nous sommes aussi soumis à une sorte d'audimat. Les enquêtes révèlent que les lecteurs lisent d'abord les faits divers et le sport, même s'ils disent qu'ils s'intéressent surtout aux questions de société...

Yvon Lechevestrier. Une anecdote. *Ouest-France* a abordé récemment le sujet des squelettes de Tévéc, découverts à Quiberon vers 1920, dans un article accompagné par une vidéo sur son site internet. Ce jour-là, ce fut le sujet le plus lu et le plus vu, parmi les sujets d'actualité. Le grand public peut donc être intéressé par une information scientifique.

Entre le marteau et l'enclume ? J'ai été plutôt bien accueilli et n'ai pas rencontré trop de problèmes... Nous, journalistes, sommes des « conteurs d'histoires » : devant une question scientifique, nous cherchons la personne qui va nous permettre de raconter l'histoire.

Les quotidiens du groupe *Ouest-France*, ce sont en fait 45 éditions, et environ 40 pages pour une édition : 12 pages communes générales, le reste local ou régional ; on cherche donc d'abord l'information locale, ce qui nécessite de faire un choix entre une info nationale, type « année mondiale de la chimie », et les informations locales qu'attendent les lecteurs.

Cécile Michaut. Dans la presse scientifique (*La Recherche, Science et Avenir...*), on n'a pas besoin de convaincre le rédacteur en chef de l'intérêt des sujets scientifiques. Mais pour les « piges », il faut montrer et justifier l'intérêt pour tel sujet. Convaincre pour gagner sa vie...

Un bon sujet a trait à l'actualité : une information (une explosion...) ou ce qui se prépare dans les laboratoires. Certes, on peut alors traiter de sujets ardu (boson de Higgs). Un bon sujet, c'est aussi celui qui touche le lecteur : santé, environnement, métaphysique (l'Univers...). Le scientifique consulté nous aide à remettre un sujet dans un contexte : son intérêt, son avenir... La moitié des chercheurs français sollicités ne répondent pas aux courriels. Les Anglo-Saxons répondent à 95 % et, s'ils ne savent pas, ils proposent des noms de collègues à joindre. Pour les relectures d'articles, les journalistes sont réticents par manque de temps, tandis que les chercheurs souhaitent relire car ils craignent que leurs propos soient déformés.

Table ronde « Témoignages », animée par Patrick Hesters

Cette deuxième table ronde était consacrée à l'expression de scientifiques et de communicants, sur leur expérience de médiation ou de communication scientifique (deux activités bien distinctes et différentes du métier de journaliste).

Nathalie Blanc travaille à la revue *Sciences Ouest* [2]. Avec un ancrage régional et très proche des acteurs, elle relate pourtant la difficulté d'entretenir des liens étroits avec la presse quotidienne régionale, même lorsque les manifestations rencontrent de larges succès. À l'Espace des sciences de Rennes (CCSTI rennais), le directeur, Michel Cabaret, témoigne ainsi : « Le succès d'une manifestation ne suffit pas pour diffuser la culture scientifique, pour montrer l'intérêt de la démarche scientifique et le perpétuel questionnement qu'elle nécessite. Pour perdurer, il faut réussir à intéresser à la fois les élus et la presse. »

Roland Lehoucq est extrêmement actif dans le domaine de la diffusion de la connaissance scientifique. L'originalité de sa démarche est l'utilisation de la science-fiction, et des supports de l'imaginaire en général, pour parler de science. Pour lui, une difficulté dans la communication scientifique est de faire passer beaucoup d'informations dans un temps court, alors qu'il y a souvent besoin d'un grand nombre de prérequis. Il faut aussi que les journalistes soient conscients que les scientifiques s'expriment sous le regard de leurs pairs, et qu'après ils vivent avec. Le scientifique a un impératif de vérité, et faire du compréhensible vrai, c'est très difficile.

Jean-François Mathiot, physicien théoricien, a de nombreuses activités de popularisation des sciences et de diffusion des connaissances. Il trouve que c'est un exercice difficile, mais très stimulant, de pouvoir adapter

son langage à des publics de niveaux très différents. Ce n'est pas seulement une bonne œuvre, le chercheur fait cela pour lui aussi. Intervenir dans les classes, c'est s'adresser aux élèves, mais également trouver des relais *via* les professeurs. C'est enfin le rôle du chercheur de s'adresser à la société, par des conférences citoyennes locales, sur des sujets de grand intérêt général (par exemple, les OGM).

Stéphanie Meyer-Thomas développe des programmes pour la télévision locale de Strasbourg, visant à améliorer la visibilité des activités de recherche de l'université. Au-delà de l'action de communication se trouvent le rôle de vigie pour alerter les rédactions et la part de conseil pour les chercheurs qui sont en contact avec les journalistes. Pour elle, la communication scientifique est le pont nécessaire entre les journalistes et les scientifiques.

Lydie Valade a une forte expérience de travail avec les médias, acquise à travers les rencontres « Chimie et Terroir » [3] qu'elle a initiées. Ses rapports avec les journalistes ne sont pas forcément difficiles, mais compliqués en raison de l'image négative de la chimie. Elle a mené, par exemple, une série intitulée « le petit chimiste illustré » avec la *Dépêche du Midi*, qui a très bien marché. Pour autant, certaines actions remarquables et ambitieuses, comme la création d'une affiche géante du tableau périodique des éléments, peinent à attirer les journalistes dans une ville qui reste traumatisée par le souvenir de l'explosion d'AZF.

Table ronde « Mieux travailler ensemble, former et informer », animée par Guillaume Trap

Le but de cette table ronde était d'analyser les difficultés de communication entre scientifiques et journalistes, et de voir les moyens d'y remédier. Mais attention : comme l'ont souligné Dominique Leglu et Bernard Maitte, les lignes éditoriales des différents médias ne sont pas les mêmes, et les scientifiques (individus, équipes ou institutions) n'ont pas tous les mêmes intérêts.

Les difficultés

• *Les contraintes de temps sont différentes chez les journalistes et les scientifiques.*

Guillaume Trap rappelle un constat de Pierre Desgraupes : « L'information scientifique transmise par les médias résulte d'un compromis entre deux démarches antagonistes par essence : d'un côté celle des scientifiques, tenus par une exigence de rigueur qui les incline naturellement à ne divulguer les progrès de leurs recherches qu'avec une extrême prudence ; de l'autre côté, il y a des journalistes qui, dressés à chasser le *scoop* en toute occasion, ont peine à se plier à cette exigence de retenue. »

• *Souvent, les journalistes ne savent pas comment fonctionne la science.*

Sophie Bécherel rapporte une anecdote significative. « Le lendemain de l'annonce des neutrinos supraluminiques, on a invité à la rédaction un physicien, qui a insisté sur le fait que lui-même était très étonné de ce résultat, et qu'il faudrait évidemment le reproduire. Cela a soulevé un tollé pour la moitié des journalistes présents, parce qu'ils n'ont pas compris pourquoi un scientifique venait nuancer à ce point les résultats qu'on avait annoncé le matin même comme tout à fait extraordinaires. »

• *Journalistes et scientifiques ont des logiques différentes.*

Le journaliste ne prêche pas la cause de la science, mais il informe et n'a pas à prendre parti. « À l'AJSPI, nous ne sommes pas là pour dire que la science c'est le progrès, qu'elle est forcément bonne, que c'est notre avenir. Nous sommes les porte-parole des sciences, mais avec tout ce qu'elles comportent comme controverses, dimensions sociétale, politique, économique..., contrairement évidemment aux communicants ou aux médiateurs. »

• *Les journalistes donnent-ils trop de place aux « marchands de doute » dans les médias ?*

Jean Jouzel pense que c'est inéluctable. « Prenons l'exemple du réchauffement climatique. Si vous acceptez que c'est un problème potentiel qui nous emmène forcément vers une société sobre en carbone, cela a tellement d'importance sur notre vie de tous les jours et notre mode de développement, que c'est normal qu'on soit questionnés. On ne peut pas y échapper. »

Mais c'est dans le choix des interlocuteurs qu'on peut faire des reproches aux journalistes : pour eux, s'il n'y a pas de débat, il n'y a pas d'audience.

Pour mieux travailler ensemble, former les scientifiques, mais aussi les journalistes

Jean-Michel Courty a vu une réelle évolution depuis 5 ans. « Au début, la plupart des gens étaient assez réticents à faire de la communication. Et puis, avec les modes de financement sur projets, de plus en plus de laboratoires font remonter des textes pour qu'on parle de ce qu'ils ont fait, mais, hélas, ils le font parfois en se prenant pour des publicitaires. Donc, on essaie de recadrer les choses. » Pour cela, la cellule de communication de l'INP du CNRS met au point des formations de deux jours, au Centre de vulgarisation de la connaissance à Orsay ; là, on décrit au scientifique ce qu'est un journaliste et comment fonctionnent les différents médias. On lui explique qu'il faut intéresser le public, mais éviter la survente.

Sophie Bécherel rappelle que, de son côté, l'AJSPI organise depuis 9 ans des « Bourses d'échange chercheur-journaliste », qui consistent à ce qu'un scientifique vienne une semaine dans une rédaction et à ce qu'un journaliste aille passer une semaine dans un laboratoire. L'idée est de partager la vie du chercheur ou du journaliste, pour en percevoir les contraintes. C'est extrêmement formateur et les retours sont très positifs.

Bernard Maitte, ancien professeur à l'École supérieure de journalisme de Lille, évoque les formations de journalistes scientifiques, où les élèves ont des stages à faire dans la presse, dans des laboratoires et dans des structures de communication de grands organismes. Voir comment ces logiques fonctionnent et quelles sont les contraintes réciproques des uns et des autres amène à se parler, se comprendre et se respecter.

Une discussion s'ensuit sur le *media training*. **Dominique Leglu** n'aime pas l'idée que cela pourrait amener à du formatage, et est convaincue qu'il faut conserver une certaine spontanéité, des prises de position personnelles. Elle insiste sur l'enrichissement que constitue pour le chercheur l'interaction directe avec un journaliste. **Julien Guillaume** répond qu'au contraire, le *media training* va permettre au chercheur d'être plus spontané. L'objectif de ces formations est que tout chercheur, et pas seulement ceux qui ont un talent de « bon client », puisse répondre « oui » à la demande d'un journaliste. Il est important de faire émerger de « nouvelles têtes », de nouveaux sujets, auprès des journalistes.

Conclusion

In fine, cette journée a permis des échanges souvent intéressants entre diverses communautés, l'assistance étant pour partie importante composée de représentants de la communication scientifique.

Un certain nombre de propositions ont été faites lors des discussions. En particulier, une partie du public insistait sur l'importance actuelle de l'information scientifique sur Internet. Cela pourrait être le thème d'une prochaine rencontre.

Il serait vain de prétendre que cette journée a abattu des obstacles menant à une information scientifique satisfaisant toutes les parties prenantes. Mais, comme souvent, on peut espérer que le fait de se rencontrer, d'échanger et de mieux se connaître permettra de meilleures relations entre les sociétés savantes et les médias. La connaissance par chaque partenaire des contraintes des différents métiers (par exemple leurs temps caractéristiques) est en effet indispensable à ces bonnes relations. ■

Daniel Bideau (daniel.bideau@univ-rennes1.fr), **Charles de Novion**, **Paul-Éric Pottie** et **Gérard Torchet**

Références

- 1• www.ipsos.fr/sites/default/files/.../les_francais_et_la_science.pdf 2• www.espace-sciences.org/sciences-ouest 3• www.maisondelachimie.asso.fr/chimiesociete/

Les Olympiades internationales de Physique 2012 en Estonie

5 jeunes Français médaillés, avant même l'ouverture des Jeux Olympiques

Alors que tous les yeux sont rivés sur la capitale anglaise attendant les premières médailles françaises, la France est en réalité déjà détentrice de 5 médailles internationales : 4 en argent et 1 en bronze ! 5 élèves en classe de terminale scientifique et en première année de classe préparatoire viennent en effet de défendre nos couleurs aux Olympiades internationales de Physique, qui ont eu lieu du 15 au 24 juillet à Tallinn et Tartu, en Estonie.



De gauche à droite : Paul Kirchner (argent), Theodor Misiakiewicz (argent), Jonathan Dong (argent), Jean Douçot (argent), Simon Pirmet (bronze).

Contacts :

sciences.ecole@obspm.fr,
nicolas.billy@education.fr,
solene.thery@obspm.fr (06 01 77 14 46)

Parmi plus de 80 pays et contre environ 400 élèves, notre premier français se classe en 60^e position, décrochant ainsi une médaille d'argent. Pour ce concours complet, il aura fallu venir à bout à la fois d'une épreuve théorique (profil des ailes d'avions, formation des étoiles...) et d'une épreuve expérimentale (étudier l'infime déformation de la surface de l'eau par un aimant). Saluons la belle performance collective de cette équipe homogène, et souhaitons bonne chance aux quatre chimistes qui sont actuellement en train de passer leurs épreuves à Washington.

Pour obtenir ces résultats, pas de secret : une première sélection se fit sur une épreuve théorique organisée à l'échelle nationale, au mois de mars 2012, à laquelle participèrent plus de deux cents élèves de terminales scientifiques et de première année de classes préparatoires, réunis dans une vingtaine de centres. C'est ensuite à une préparation intensive d'une semaine qu'ont participé les vingt-quatre présélectionnés, dans les ENS de Cachan et de Paris. C'est alors que la sélection finale a permis de retenir les cinq participants qui ont porté les couleurs françaises au concours international, en Estonie.

La préparation et la sélection des candidats ont été organisées par le Comité français des Olympiades internationales de Physique, sous l'autorité de son président, Monsieur Nicolas Billy, Inspecteur général de l'Éducation nationale, et sous l'égide et grâce au soutien logistique et financier du dispositif ministériel « Sciences à l'école ».

Nous vous invitons à découvrir la préparation, la liste des centres régionaux, et les épreuves de sélection et du concours international, sur le site :

www.sciencesalecole.org/les-concours/olympiades-internationales-de-physique-iph0.html

Sciences à l'école

Daniel Hennequin, président de la section Nord Pas-de-Calais, Picardie de la SFP, remporte un prix au Festival du Film Universitaire Pédagogique



Le film *Quel est le point commun entre un ananas, un lapin et la tour de Pise ?* a reçu le prix du meilleur court-métrage au Festival du Film Universitaire Pédagogique. Le trophée a été remis aux trois auteurs, Daniel Hennequin, Maxime Beaugeois et Damien Deltombe, le mardi 17 avril à l'Hôtel de Région de Lyon, lors de la soirée palmarès du festival.

Ce clip de 5 minutes est une introduction aux nombres de Fibonacci ; il nous fait découvrir les nombreuses propriétés étonnantes de ces nombres, et pourquoi ils peuvent apparaître spontanément dans la nature.

Le film est un épisode de la série grand public *Kezako*, qui en compte déjà plus de 20, et dont l'objectif est de répondre sur un format court à des questions de sciences. La série aborde des thèmes très variés, bien au-delà de la physique, mais toujours avec l'œil du physicien. Elle est produite par l'Université Lille 1 et l'Université des Sciences en Ligne Unisciel.

Le Festival du Film Universitaire Pédagogique, organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, est une « tribune dédiée à l'image et au film » qui montre comment le média audiovisuel contribue au transfert des connaissances, à la réussite et à l'insertion professionnelle des étudiants.

Un séminaire IPS-SFP à Singapour sur la physique des atomes froids



Pour renforcer les liens scientifiques entre la France et Singapour dans le domaine de la physique fondamentale, la Société Française de Physique (SFP) et l'Institut de Physique de Singapour (IPS) ont organisé, du 16 au 19 janvier 2012, un séminaire intitulé "Condensed Matter and Quantum Information Physics: Shedding New Light with Atomic Systems".

Cette réunion, qui s'est tenue à la Nanyang Technological University (NTU) de Singapour, a rassemblé plus de 40 spécialistes. Elle était organisée par l'Institut of Advanced Studies (IAS), avec le soutien de l'Ambassade de France à Singapour.

Le séminaire a abordé les avantages et les limites des systèmes atomiques ultra-froids pour s'attaquer à des questions importantes de physique, comme le problème à n -corps et l'information quantique. Il a également traité deux autres sous-thèmes : la supraconductivité et les « simulateurs quantiques ».

Ce séminaire a donné lieu à la signature d'un Memorandum of Understanding (MOU) entre la SFP et l'IPS. Une conférence sera tenue tous les deux ans alternativement en France et à Singapour, afin d'entretenir les relations entre les deux sociétés.

Site internet du séminaire : www.ntu.edu.sg/ias/IPS-SFP

La quatrième École de Physique Avancée au Maghreb (EPAM 2012)

Organisée par la Société Tunisienne de Physique et l'École Polytechnique de Tunis, avec le soutien de la SFP, cette école s'est tenue à La Marsa, près de Carthage, du 16 au 24 mars 2012.

Le thème était cette fois-ci « Lasers, photonique et applications ». Les responsables scientifiques étaient Fabien Bretenacker (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay, France) et Mourad Telmini (Faculté des Sciences de Tunis). L'école a compté une soixantaine de participants. Une vingtaine de cours ont été présentés, les enseignants étant issus des quatre pays fondateurs : France (6), Tunisie (5), Algérie (2) et Maroc (1).

Le programme de l'école peut être trouvé sur le site : www.stp.org.tn/epam2012/

Aux conseils d'administration

du 16 mars et du 15 juin 2012

Nouveaux responsables

- Nouveau responsable de division de spécialité Accélérateurs : Jean-Luc Revol (revoljl@esrf.fr)
- Nouveau président de section locale Haute-Normandie : Sandrine Morin (Sandrine.Morin@univ-rouen.fr)
- Nouveau président de commission Enseignement : Nathalie Lebrun (nathalie.lebrun@univ-lille1.fr)

Attribution de prix scientifiques

- Prix Jean Ricard 2012 : Sébastien Balibar (Laboratoire de physique statistique, ENS, Paris).
- Prix Félix Robin 2012 : Jean-Pierre Lasota (Institut d'astrophysique, Paris).
- Prix spécial de la SFP 2012 : Wolfgang Wernsdorfer (Institut Néel, Grenoble).
- Prix Gentner-Kastler 2012 (DPG-SFP) : Jean-François Joanny (Institut Curie, Paris).
- Prix Jeune chercheur Daniel Guinier 2011 : Antoine Dussaux (UMR CNRS/Thales, Palaiseau).
- Prix Jeune chercheur Saint-Gobain 2011 : Pauline Ascher (CEN Bordeaux/Gradignan).
- Prix Jeune chercheur Michelin 2011 : Benjamin Pasquiou (Laboratoire de physique des lasers, Villetaneuse).
- Prix Yves Rocard 2012 : Patricia de Rango, Daniel Fruchart, Salvatore Miraglia (Institut Néel, Grenoble), Philippe Marty (LEGI, UJF/CNRS, Grenoble), Michel Jehan (société McPhy Energy).
- Prix Aimé Cotton 2012 (physique atomique et optique) : Sophie Kazamias (Laboratoire de physique des gaz et plasmas, Orsay).

Prix Aimé Cotton 2011 (physique atomique) : Sébastien Zamith

Né en 1974, Sébastien Zamith a soutenu en 2001 sa thèse sur la dynamique femtoseconde dans des atomes et des molécules. Il a ensuite effectué un stage postdoctoral à l'Institut AMOLF à Amsterdam. Il est depuis 2004 chargé de recherches CNRS au Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité (Toulouse).



© P. Dumas/look at sciences/Science photo library

Le prix Aimé Cotton 2011 a été décerné à Sébastien Zamith, pour ses travaux sur la nucléation et la thermodynamique des agrégats.

Excellent expérimentateur, Sébastien Zamith a contribué de manière essentielle à la mise en œuvre d'une technique novatrice, consistant à attacher de manière contrôlée des atomes (ou des molécules) sur des agrégats sélectionnés en taille, en phase

gazeuse. Cette méthode donne accès, par un contrôle de la température des agrégats et une mesure de leur cinétique d'attachement et de fragmentation, à certaines de leurs propriétés thermodynamiques fondamentales : processus de nucléation, chaleurs latentes de fusion, transitions de phase...

Appliqué aux agrégats de sodium, ce nouveau procédé a permis de mettre en évidence un phénomène de préfusion de

surface attribuée à une transition structurale non détectée jusqu'alors.

Plus récemment, ses études sur des nanogouttelettes d'eau ont révélé une transparence partielle vis-à-vis de l'attachement de molécules, qui illustre le rôle primordial et encore mal connu des effets dynamiques dans la redistribution de l'énergie au cours de la croissance des systèmes nanoscopiques complexes.

Prix Louis Ancel 2011 (matière condensée) : Cyril Proust

Cyril Proust, 40 ans, a soutenu sa thèse en 1999 sur le sujet des oscillations quantiques de la magnétorésistance et des transitions de phase dans les (supra)conducteurs organiques. Après un séjour postdoctoral à Toronto, il a été recruté en 2001 par le CNRS, au Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses à Toulouse.



© P. Dumas/look at sciences/Science photo library

Il y a mis au point des techniques de mesure de la topologie de la surface de Fermi sur de très petits monocristaux. Ces développements expérimentaux lui ont permis, en 2006-2007, de mettre en évidence des oscillations de Haas-van-Alphen à travers le diagramme de phase température – densité de porteurs de charge des supraconducteurs à haute température critique. Dans les matériaux

sous dopés, il s'agit d'une véritable rupture de paradigme, car une surface de Fermi avec des excitations électroniques cohérentes n'y était point attendue.

L'origine des poches d'électrons observées est une reconstruction de la surface de Fermi, suite à un ordonnancement des charges dans ces composés. Ces travaux ont relancé la recherche internationale dans le domaine de la supraconductivité à haute T_c .

Cyril Proust applique aujourd'hui les mêmes méthodes aux supraconducteurs à base de fer, aux systèmes à électrons f et aux semi-conducteurs, avec des résultats tout aussi importants.

C'est la très grande qualité et la portée de son œuvre scientifique, et sa contribution au rayonnement de la physique française, qui ont motivé le jury de le proposer pour l'attribution du prix Ancel 2011.

Prix René Pellat 2011 (physique des plasmas) : Sedina Tsikata

Le bureau de la division Plasmas de la SFP a attribué le prix René Pellat⁽¹⁾ 2011 à Sedina Tsikata pour son travail de thèse, « Diagnostic laser pour l'étude de la diffusion turbulente », effectué au Laboratoire de physique des plasmas de l'École polytechnique.



Les propulseurs à effet Hall, utilisés couramment sur des satellites de télécommunication, souffrent d'une mauvaise compréhension des processus physiques en jeu dans leur fonctionnement. Des simulations numériques proposaient comme origine du transport des instabilités cinétiques associées à des modes à l'échelle du millimètre, inobservables par les moyens classiques.

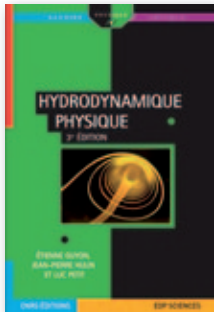
Il a alors été proposé à Sedina Tsikata d'entreprendre, dans le cadre d'une thèse, un travail de recherche consistant à concevoir, fabriquer et exploiter un banc optique utilisant la diffusion collective de la lumière, dans le but de mettre en évidence de tels modes dans le plasma en sortie du moteur. Le résultat fut un outil performant, avec un excellent rapport signal sur bruit, qui a permis d'identifier et de caractériser

l'instabilité. Ce beau travail expérimental a permis une amélioration de la théorie du mode et sa modélisation.

Sedina Tsikata vient d'être recrutée par le CNRS à l'Institut ICARE à Orléans.

(1) Ce prix, attribué annuellement à un jeune physicien par la division Plasmas de la SFP, a pris en 2011 le nom de René Pellat, ancien président du CNES puis Haut-Commissaire à l'énergie atomique, médaille d'argent du CNRS pour ses travaux en physique des plasmas.

Les nouveautés de la rentrée



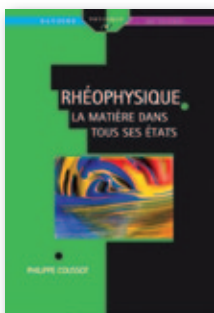
Hydrodynamique physique (3^e édition)

Étienne Guyon, Jean-Pierre Hulin et Luc Petit

Après un nouvel intervalle de dix ans, cet ouvrage a été revu en profondeur tout en conservant son style qui privilégie les arguments physiques, les raisonnements intuitifs et les calculs simples ; il donne une large part aux approches expérimentales et présente une iconographie renouvelée. Dans cette nouvelle édition, l'image joue un rôle accru en tirant souvent parti des nouveaux outils numériques, comme en témoigne le cahier central en couleurs destiné à stimuler la curiosité du lecteur.

Ce livre fournit un panorama extrêmement riche des écoulements de la matière, fluide ou presque fluide. De plus, il ne s'égare jamais dans les calculs, qui peuvent être vus comme des exercices d'application, avant d'en avoir dégagé des principes. Le même souci pédagogique qui caractérisait les versions précédentes a été conservé : les étudiants de licence et de master, ainsi que les élèves des classes préparatoires et les élèves-ingénieurs pourront donc en faire un usage particulièrement fructueux.

Septembre 2012 / Collection *Savoirs Actuels* / ISBN : 978-2-7598-0561-7 / 720 pages / 64 €



Rhéophysique – La matière dans tous ses états

Philippe Coussot – Préface d'Étienne Guyon

Les peintures, encres, ciments, boues, mousses, émulsions, dentifrices, gels, purées, ont des structures complexes et des comportements parfois surprenants, souvent intermédiaires entre ceux des solides et ceux des liquides simples. Il s'agit d'états de la matière qui sortent du cadre habituel de la physique des gaz, liquides ou solides moléculaires, puisqu'ils sont composés d'éléments plus gros. En pratique, on cherche à analyser leurs évolutions internes, à mettre au point les matériaux en fonction des propriétés recherchées, ou bien même à en inventer de nouveaux aux propriétés plus originales. Pour cela, il est essentiel de comprendre comment se déforment ou s'écoulent ces matériaux en fonction des interactions et des structures formées par les éléments qu'ils contiennent.

Cet ouvrage s'adresse à un large public : étudiants à partir de la licence, ingénieurs ou chercheurs en mécanique, physique, chimie, biologie... Il présente une vision unifiée de l'origine physico-chimique des comportements mécaniques des gaz, solides ou liquides simples, suspensions, polymères, colloïdes, émulsions, mousses, granulaires, ainsi que les techniques de mesure de ces comportements. Le formalisme mathématique a été allégé au maximum afin de se focaliser sur les explications physiques des phénomènes.

Septembre 2012 / Collection *Savoirs Actuels* / ISBN : 978-2-7598-0759-8 / 356 pages / 49 €



Café, crème, savon et Cie – La petite chimie du matin de Marie Curieuse

Muriel Chiron-Charrier

Mais qui est donc Marie Curieuse ? Ce pourrait être vous, si tout comme elle, des questions vous assaillent dès le matin à la sortie du lit : Quelle différence y-a-t-il entre la théine et la caféine ? Comment le savon a-t-il été créé ? À quoi sert le collagène présent dans notre épiderme ? Avec quoi se maquillait Cléopâtre ?

Sur un ton à la fois drôle et sérieux, l'auteure nous fait découvrir l'histoire d'un produit, les origines de ses composants, les réactions chimiques pour arriver à un tel résultat et son utilisation... bref, la petite chimie du matin !

Chaque partie est construite autour d'une thématique. Les explications sont claires et concises et les illustrations décalées nous emportent dans le monde de Marie Curieuse.

Un livre à mettre dans les mains de tous les curieux et passionnés de sciences !!

Août 2012 / ISBN : 978-2-7598-0707-9 / 160 pages reliées / 12 €



« La couleur dans tous ses éclats »

Bernard Valeur (Belin, Pour la Science, 2011, 128 p., 22,85 €).

Qu'est-ce que la couleur ? Comment sont produites les couleurs féériques des feux d'artifice ? Comment fonctionnent les différentes sources de lumières colorées ? Qu'est-ce que la bioluminescence ? Quel est donc le secret des teintes flamboyantes de ces pierres plus rares que le diamant, les opales ? Qu'est-ce que le jaune de Naples ou le blanc de titane ?

Dans cet ouvrage, Bernard Valeur traite avec clarté et pédagogie du vaste sujet pluridisciplinaire et complexe qu'est la couleur. L'auteur mêle approches historiques, scientifiques (relevant de la physique, de la chimie, de la physiologie ou des sciences humaines), technologiques ou artistiques pour nous faire découvrir et nous expliquer le monde coloré qui nous entoure. La couleur est présentée dans tous ses éclats, au travers de plus de cinquante thèmes, chacun traité sur une double page superbement illustrée. De multiples renvois invitent le lecteur à parcourir l'ouvrage au gré de ses centres d'intérêt et de sa curiosité.

Le livre est organisé en trois parties. Le premier chapitre nous ouvre au monde des couleurs pour comprendre leur vision, leurs mélanges et leur reproduction, les lumières colorées ou encore la couleur des objets. Dans le deuxième chapitre, l'auteur nous conduit dans un voyage à la découverte des couleurs des mondes animal, végétal et minéral. Cette escapade se poursuit entre ciel et mer pour finalement porter un regard émerveillé sur les couleurs du ciel nocturne et de l'univers. Dans le dernier chapitre, l'auteur fait le pont entre couleur et culture. De la fabrication et l'application des teintures, en passant par les premiers pigments pour l'art pictural jusqu'à la révolution de la peinture acrylique, le lecteur découvre ces couleurs qui imprègnent la culture scientifique et artistique.

Cet ouvrage très complet, qui donne à comprendre la beauté du monde coloré, est destiné à un large public, lycéen, étudiant, citoyen curieux. À n'en pas douter, ce thème transversal intéressera également de nombreux enseignants, et plus particulièrement les professeurs de physique-chimie qui trouveront dans ce livre une ressource pédagogique précieuse, notamment pour traiter les thèmes « couleur, vision, image », « sources de lumière colorée » ou encore « matières colorées » des nouveaux programmes de la classe de première de la série scientifique.

Bernard Valeur est physico-chimiste, professeur émérite au Conservatoire national des arts et métiers. Il est l'auteur de plusieurs livres de vulgarisation scientifique, en particulier sur la lumière : *Lumière et luminescence : ces phénomènes lumineux qui nous entourent* (Belin, 2005), *Sons et lumière* (Belin, 2008).

La couleur dans tous ses éclats a reçu le prix du livre généraliste 2011 du concours « Le goût des sciences » du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et le prix Prisme 2012 décerné par l'Académie de la Couleur.

Christophe Daussy

Laboratoire de Physique des Lasers, Université Paris 13, Villetaneuse



« Le Credo antinucléaire : Pour ou contre ? »

Pierre Bacher – Préface d'Édouard Brézin (Odile Jacob, 2012, 165 p., 15,90 €)

Face au débat national sur l'énergie qui devrait bientôt s'ouvrir et qui conditionnera l'avenir de l'électronucléaire, le citoyen se croit convenablement informé. Un sondage, récemment effectué pour *La Recherche* et *Le Monde*, indique que 66% des Français ont le sentiment de bien comprendre les enjeux du nucléaire (41% souhaitent que l'on arrête les recherches en ce domaine). Mais une grande majorité estime aussi que les chercheurs n'ont pas à s'investir dans la vulgarisation ; on peut donc craindre que l'opinion générale ait essentiellement été formée par les médias ou par Internet, qui sur des questions complexes ne peuvent guère diffuser que des informations superficielles ou fragmentaires, si ce n'est biaisées ou militantes. Un « credo » simpliste s'est ainsi répandu, que discute le présent ouvrage.

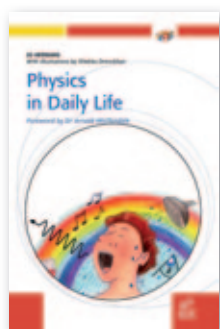
L'auteur, Pierre Bacher, a commencé sa carrière auprès de Jules Horowitz, un pionnier de la physique des réacteurs, avant d'acquiescer lors de sa carrière à EDF une expertise dans tous les domaines de la production d'électricité (ce qui lui a valu la médaille d'or de l'Académie des Technologies). Il présente dans ce livre tous les éléments permettant au lecteur de se forger une opinion éclairée sur les nombreux problèmes liés au nucléaire : risques, sûreté, déchets, démantèlement, coûts, dissémination, aspects économiques, environnementaux, sociétaux, géopolitiques, éthiques... Il analyse sous tous les angles chacun de ces points, examine avec réalisme et rigueur les diverses options envisageables, pèse soigneusement le pour et le contre, s'appuyant sur des faits

concrets tels que les conséquences du scénario allemand de sortie du nucléaire ou les enseignements de Fukushima. Au passage, il dénonce les slogans, les croyances quasi religieuses et les contre-vérités trop souvent répercutées par la presse ou la télévision.

Agréable à lire, court malgré sa richesse, cet ouvrage indispensable offre une analyse rigoureuse sans laquelle on ne saurait sainement raisonner. Il s'adresse à des lecteurs variés. Il permettra au grand public, on l'espère, de remplacer les actes de foi par des opinions rationnelles. Il éclairera le citoyen sur des enjeux majeurs de notre société, afin qu'il résiste sereinement aux réactions émotionnelles et aux idéologies. Il aidera les enseignants, les journalistes et faiseurs d'opinion à diffuser une information équilibrée et objective. Puisse-t-il surtout être assimilé par ceux qui participeront au débat national et par les politiciens qui ont la lourde responsabilité de décider de l'avenir énergétique de notre pays !

Roger Balian

Académie des sciences, Paris



“Physics in Daily Life”

L.J.F. (Jo) Hermans – Illustrations de Wiebke Drenckhan

(EDP Sciences, 2012, 112 p., 18 €).

Les physiciens de la SFP connaissent la rubrique régulière que tient Jo Hermans dans *Europhysics News* et qui analyse, non sans humour, des curiosités naturelles rencontrées au quotidien. Ce petit livre, préfacé par Sir Arnold Wolfendale, ancien président de la Société Européenne de Physique, regroupe 39 exemples de phénomènes dont nous pouvons être les témoins autour de nous.

Des ouvrages avec la même ambition existent déjà. Jearl Walker tenait une rubrique régulière dans *Scientific American*, dont un livre rend compte [1]. Dans les années récentes, Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik [2] ont pris le relais et alimentent chaque mois la revue *Pour la Science* avec la présentation et l'analyse d'un phénomène scientifique physique, souvent issu des sciences de la nature et de la vie. La SFP leur a décerné en 2008 le prix Jean Perrin pour leur travail remarquable et délicat d'analyses de phénomènes souvent subtils à décrypter. Citons enfin *La physique des objets quotidiens* de Cédric Ray et Jean-Claude Poizat [3].

Le nouveau livre écrit par Jo Hermans, professeur émérite de l'Université de Leiden, a aussi sa place dans la bibliothèque des curieux de science au quotidien, par ses nouveaux exemples, mais aussi par une démarche originale que l'on peut résumer par une expression qu'on retrouve tout au long des chapitres et des exemples de cet ouvrage : *back of the envelope*. J'avais fait connaissance avec cette expression à travers la rubrique qui portait ce titre dans *American Journal of Physics*, un exercice où se sont illustrés des grands comme Enrico Fermi, Geoffrey I. Taylor ou Victor Weisskopf, et qui consiste à décrypter en quelques lignes un phénomène physique à coup d'analyses d'ordres de grandeur, de mécanismes simples...

Jo Hermans examine chaque exemple qu'il présente à partir de tels calculs simples et d'analyses qualitatives. C'est bien souvent la bonne méthode pour une première estimation des mécanismes en compétition ou coopération, et pour rendre compte de l'origine des phénomènes physiques en jeu : quelle est la cause de la bouffée de chaleur que je ressens dans mon sauna lorsque je verse de l'eau froide sur le poêle ? Quel est l'effet d'un vent de travers lorsque je fais du vélo ? Quelle distance limite parcourue peut-on attendre pour la voiture électrique ? Quelles limites encore pour les effets de la diffraction dans les appareils photos digitaux ?...

Les exemples sont en général d'un niveau plus élémentaire que ceux que J.M. Courty et É. Kierlik développent. Mais ils mettent bien en avant cette démarche essentielle de la boîte à outil du physicien, celle des ordres de grandeur qui jouent un rôle tellement essentiel dans les évaluations que nous avons à faire chaque jour. Cet ouvrage, comme ceux que nous avons cités précédemment, servira un enseignement qui donne sa juste place à une approche inductive des phénomènes physiques.

Étienne Guyon

Physique et mécanique des milieux hétérogènes, ESPCI, Paris

[1] Voir J. Walker, *Le cirque de la physique* (Dunod, 2008).

[2] On retrouve leurs rubriques dans les trois ouvrages : *La physique buissonnière*, *La physique au cœur du quotidien*, *Les lois du monde* (Belin).

[3] Édité chez Belin.

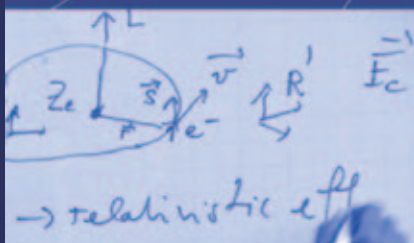


Feb 25 - Mar 8 [2013]
Cargèse, Corsica
France

EUROPEAN SCHOOL ON MAGNETISM

2013

MAGNETISM FOR ENERGY FROM FUNDAMENTALS TO MATERIALS



<http://magnetism.eu/esm>

Organizing committee

Nora DEMPSEY (chair), Grenoble
Olivier FRUCHART, Grenoble
Olivier ISNARD, Grenoble
Claudine LACROIX, Grenoble

Scientific committee

L. ABELMANN, Twente
S. BLUNDELL, Oxford
F. ALBERTINI, Parma
E. BRÜCK, Delft
E. BURZO, Cluj
M. COEY, Dublin
N. DEMPSEY, Grenoble
T. DIETL, Warsaw
O. FRUCHART, Grenoble
P. GAMBARDILLA, Barcelona
O. GUTFLEISCH, Darmstadt
L. HEYDERMANN, Villigen
O. ISNARD, Grenoble
J. KIRSCHNER, Halle
C. LACROIX, Grenoble
M. RICHTER, Dresden
K. SANDEMAN, London
D. SANDER, Halle
L. SCHULTZ, Dresden
N. SPALDIN, Zürich
H. SPAŁEK, Krakow
W. WULFHEKEL, Karlsruhe

Scope

The European School on Magnetism (ESM) is a joint action of the European magnetism community, and is organized in cooperation with the JEMS conference (Joint European Magnetic Symposia). ESM aims at providing young scientists with a thorough up-to-date insight into the fundamentals of magnetism.

As with previous sessions of ESM, the 2013 School is based on a broad series of fundamental lectures, with special attention given to a specific topic. The topic selected for 2013, Magnetism for Energy, covers a wide range of phenomena and materials, dealing with both fundamental issues of condensed matter physics and materials science, and addressing applications and wider environmental issues.

Topics

- ▶ Basic concepts
- ▶ Magnetism in matter
- ▶ Temperature effects
- ▶ Magnetic characterization
- ▶ Magnetization processes
- ▶ Functional materials
Including permanent magnets, magneto-caloric, soft, shape memory alloys) and devices.
- ▶ Spintronics
Including spin transfer, spin currents and Seebeck, electric field effects
- ▶ Industry perspectives

Means of learning

Promoting a close interaction between lecturers and attendees is a crucial aspect of ESM. To achieve this, the programme will alternate between lectures, question sessions, analytical and numerical practicals, access to a library dedicated to magnetism, and poster sessions dedicated to the attendees' activities.

MAGNETISM.eu

A GATEWAY TO THE EUROPEAN
MAGNETICS COMMUNITY



UNIVERSITE DE
GRENOBLE



Université
franco-allemande
Deutsch-Französische
Hochschule

