



**Résumés des conférences de l'école d'été de  
physique e2phy2013 à Limoges**

# Lumière et art, ou comment voir l'invisible avec les rayonnements

**Lucile Beck**

[lucile.beck@cea.fr](mailto:lucile.beck@cea.fr)

CEA, DEN, Service de Recherches de Métallurgie Physique,  
Laboratoire JANNUS, 91191 Gif-sur-Yvette

La lumière visible et les rayonnements X, ultraviolets, infrarouges jouent un rôle majeur dans l'étude des œuvres d'art depuis près d'un siècle. Grâce aux rayons qui éclairent et traversent les œuvres sans les endommager, la radiographie et la photographie ont été mises à profit pour « voir l'invisible ». On peut découvrir ou redécouvrir ainsi des dessins préparatoires, des signatures cachées ou des œuvres perdues.

À partir des années 70, avec le développement d'appareillages de laboratoire, d'autres outils utilisant les rayonnements entrent au service du Patrimoine culturel ; il s'agit des techniques de spectrométrie qui permettent de sonder la matière à des échelles atomiques pour en révéler les constituants. On peut ainsi remonter aux « recettes » utilisées par le passé pour réaliser des œuvres d'art ou pour façonner des objets plus usuels.

Après une rapide introduction historique, le cours présentera les différentes techniques utilisées au laboratoire pour l'examen scientifique des œuvres d'art ou de pièces archéologiques. On décrira les différentes interactions entre les rayonnements et les matériaux constitutifs des objets et on donnera quelques exemples. Enfin, on montrera comment les contraintes inhérentes à ces matériaux ont poussé à des développements instrumentaux.

## Pour en savoir plus :

- <http://www.c2rmf.fr/> : site du Centre de recherche et de restauration des musées de France, Paris.
- <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosart/imgArt/phototheq/global.html> : dossier CNRS Sagasciences « Art et sciences ».
- L. Beck, L'art à l'épreuve des rayons, La Radioactivité TDC N° 1030, 15 février 2011 :  
[http://www.cndp.fr/tdc/fileadmin/docs/tdc\\_1030\\_radioactivite/article.pdf](http://www.cndp.fr/tdc/fileadmin/docs/tdc_1030_radioactivite/article.pdf)
- Ch. Amatore *et al.*, La chimie et l'art, EDP Sciences, 2010.
- Jean-Pierre Mohen, L'Art et la science : L'Esprit des chefs-d'œuvre, Découverte Gallimard 1996.
- Sous la direction de J-P. Mohen *et al.*, Au cœur de « La Joconde » : Léonard de Vinci décodé, Gallimard, Paris, 2006 : tout sur les examens de La Joconde lors de sa dernière étude au laboratoire.

## Notice biographique :

- **Chef du laboratoire JANNUS - Jumelage d'accélérateurs pour les nanosciences, le nucléaire et la simulation - au CEA.**
- **Maître de conférences de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires.**
- Chercheur au Centre de recherche et de restauration des musées de France de 2005 à 2010.
- Docteur en physique. Spécialité : développement de méthodes nucléaires pour la caractérisation d'objets archéologiques.

# Lumière, temps, relativités

Jean Eisenstaedt

[Jean.Eisenstaedt@obspm.fr](mailto:Jean.Eisenstaedt@obspm.fr)

Directeur de recherche émérite  
SYRTE, Observatoire de Paris, CNRS, UPMC

Le temps propre est le concept fondamental de la cinématique relativiste ; la bien mal nommée "relativité restreinte". Quasiment oubliée, la très simple théorie de la propagation de la lumière newtonienne permet de poser les questions que devra affronter, sans les résoudre, la physique de la lumière au 19<sup>e</sup> siècle ; contradictions auxquelles répondra brillamment la cinématique relativiste.

Il est indispensable de faire son deuil des concepts newtoniens, temps, distance, espace absolu, de parvenir à penser l'espace-temps de Minkowski ; ce qui n'a pas été simple pour Einstein - et ne l'est encore pour personne...

## Pour en savoir plus :

- Dans les Œuvres Choisies d'Einstein au Seuil, de nombreux textes, en particulier :

- Dans le volume 2 : Einstein, Albert (1905). "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", traduction française "Sur l'électrodynamique des corps en mouvement" in Œuvres Choisies. Relativités 1. Vol. 2, 31-63. [Le texte fondateur de la relativité restreinte].
- Dans le volume 5 : Einstein, Albert (1952). "Einstein à Maurice Solovine", traduction française in Œuvres Choisies. Correspondances Françaises. Vol. 4. Paris : Seuil, 1991: 310-311. [L'épistémologie d'Einstein en deux pages].

- Dans les Cahiers Clairaut:

- Eisenstaedt, Jean (2012). "Lumière et relativité." Cahiers Clairaut 138: 1-8. [La relativité restreinte], <http://www.ac-nice.fr/clea/CC138a.html>
- Magnien, Pierre (2012). "Désintégration du muon : une horloge relativiste." Cahiers Clairaut 138: 27-31; 139: 2-5. [le temps propre, le Muon], <http://www.ac-nice.fr/clea/CC139a.html>.

- Pour approfondir :

- Eisenstaedt, Jean (2002). Einstein et la relativité générale. Les Chemins de l'Espace-Temps. Paris: Cnrs-Éditions, 2013. [De la restreinte à la générale].
- Eisenstaedt, Jean (2005). Avant Einstein. Relativité, lumière, gravitation. Paris: Seuil. [La théorie newtonienne de la propagation de la lumière].

- En anglais :

- Lorentz, Hendrik Antoon; Einstein, A., Minkowski, H., and Weyl, H. (1923), The Principle of Relativity; A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity, notes by A. Sommerfeld, ed. W. Perrett and G. B. Jeffery, trans. London: Methuen; reprint New York: Dover, 1952. [les textes fondateurs de la relativité].

## Notice biographique :

Jean Eisenstaedt, directeur de recherches émérite au CNRS, membre de l'équipe d'histoire au département du Syrte de l'Observatoire de Paris. Historien des sciences, spécialiste de l'histoire des théories de la relativité restreinte et générale ; de l'histoire de l'optique newtonienne, de l'astronomie.

A collaboré à l'édition critique des Collected Papers of Albert Einstein à Princeton University Press ainsi qu'aux Œuvres Choisies d'Einstein au Seuil.

A publié de nombreux articles historiques sur l'histoire de la relativité générale, en particulier sur l'histoire et la préhistoire des trous noirs, la cosmologie relativiste, la préhistoire des théories de relativité, l'optique corpusculaire, la théorie newtonienne de la propagation de la lumière, l'épistémologie.

A organisé plusieurs conférences sur l'histoire de la relativité.

A collaboré à La Recherche, Pour la Science, Cahiers Clairaut, L'Astronomie...

Organise à l'Observatoire de Paris un séminaire d'histoire de l'astronomie.

A en particulier publié :

- Einstein et la relativité générale. Les Chemins de l'Espace-Temps, Cnrs - Editions, 2002, [prix Jean Rostand 2002], plusieurs fois réédité. Traduction anglaise chez Princeton University Press (2005).

- Avant Einstein. Relativité, Lumière, Gravitation. Paris: Seuil, 2005.

# Les lentilles gravitationnelles

Comment la matière agit sur la lumière ?

**Jean-Marc Le Goff**

[jean-marc.le-goff@cea.fr](mailto:jean-marc.le-goff@cea.fr)

CEA - Saclay, Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers,  
91191 Gif-sur-Yvette

L'observation du déplacement des étoiles à proximité du soleil par Edington lors d'une éclipse solaire en 1919 a constitué une confirmation spectaculaire de la relativité générale. A partir du moment où une densité de matière peut dévier la trajectoire de la lumière, elle peut jouer le rôle d'une lentille. Si la première image double due à une lentille gravitationnelle n'a été observée qu'en 1979, l'effet de lentille gravitationnelle est néanmoins maintenant très utilisé en astronomie. Dans sa version de base, dite de « lentille forte », il permet par exemple de mesurer la distribution de masse des amas de galaxies. L'effet de « microlentille » permet lui de rechercher de la matière noire ou des exoplanètes, tandis que l'effet de « lentille faible » permet de mesurer la distribution de matière dans l'Univers et d'en déduire des informations de nature cosmologique, en particulier sur la nature de « l'énergie sombre ».

Après un bref historique du concept de lentille gravitationnelle on en expliquera de façon pédagogique le principe et les différentes versions, et on présentera de façon plus détaillée certaines applications.



Un anneau d'Einstein formé par la lumière d'une galaxie bleue lointaine déviée par le champ gravitationnel d'une galaxie rouge lumineuse plus proche (image Hubble).

## **Pour en savoir plus :**

- Dossier pour la Science n° 38, jan-avril 2003, p59-65, Les mirages de la gravitation
- Pour la Science numéro 326, décembre 2004, p84-89, Les mirages de la gravitation
- Jean Surdej, Lentilles gravitationnelles, DOSSIER PEDAGOGIQUE (2007), Université de Liège, [http://www.sciences.be/sites/default/files/ressources/dossier\\_lentille.pdf](http://www.sciences.be/sites/default/files/ressources/dossier_lentille.pdf)

## **Notice biographique :**

Jean-Marc Le Goff est chercheur en cosmologie au service de physique de particules du CEA Saclay. Après un doctorat en physique nucléaire il a travaillé sur la structure du proton au CERN au sein des collaborations SMC puis COMPASS. Depuis 2008 il travaille sur le relevé *Baryonic Oscillation Spectroscopic Survey* (BOSS) qui a pour but de contraindre les propriétés de l'énergie sombre, responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers. Il travaille principalement sur la simulation de spectres de quasars et sur la mesure de la fonction de corrélation de ces spectres. Il a par ailleurs enseigné la physique hadronique au DEA Champs-Particule-Matière, et enseigne actuellement à l'Ecole Centrale où il présente des introductions à la chromodynamique quantique d'une part et à la relativité générale d'autre part.

# Ondes gravitationnelles

Nicolas Leroy

[leroy@lal.in2p3.fr](mailto:leroy@lal.in2p3.fr)

LAL, Université Paris-Sud, IN2P3/CNRS, 91898 Orsay

Selon la théorie de la Relativité Générale d'Einstein lorsque deux masses sont en mouvement il doit se former une déformation de l'espace-temps qui va pouvoir se propager sur de très grandes distances que l'on nomme les ondes gravitationnelles.

Toutefois les amplitudes de ces déformations sont tellement faibles que les sources les plus intenses en onde gravitationnelle sont les objets astrophysiques les plus denses comme les étoiles à neutrons ou les trous noirs. Pour détecter ce phénomène il faut utiliser les technologies de pointes dans le domaine de la métrologie pour espérer être sensible à leur passage sur Terre. Cet effort est en cours depuis maintenant plus de 50 ans et nous commençons seulement à atteindre des sensibilités d'instrument suffisantes pour espérer détecter les ondes gravitationnelles émises par les phénomènes les plus violents de l'Univers comme les effondrements d'étoiles ou la coalescence de trous noirs.

La technique de détection la plus utilisée (et la plus sensible) est basée sur l'utilisation d'interféromètres géants de type Michelson. Plusieurs instruments existent aux Etats-Unis et en Europe et permettent d'atteindre des sensibilités relatives ( $\Delta L/L$ ) de l'ordre de  $10^{-21}$ .

Je commencerai par une présentation rapide de cadre théorique et historique des ondes gravitationnelles et des différentes sources pouvant être détectées par les instruments actuels. Je présenterai ensuite plus en détails les instruments actuels et les aspects technologiques nécessaires pour leur fonctionnement. Je présenterai ensuite quelques uns des résultats les plus significatifs obtenus avec la première génération d'interféromètre.

Je finirai par montrer les évolutions instrumentales en cours mais aussi les nouveaux types d'instruments développés pour la détection dans une grande gamme de fréquence des ondes gravitationnelles.

## Pour en savoir plus :

- Pour entrer dans le sujet avec le journal du CNRS Images de la Physique 2010, [http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2010/03\\_Virgo\\_Laser.pdf](http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2010/03_Virgo_Laser.pdf)
- Ericourgoulhon, Des ondes gravitationnelles pour scruter le cosmos, Pour la science, numéro 326 (décembre 2004), [http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/f/fiche-article-des-ondes-gravitationnelles-pour-scruter-le-cosmos-21847.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/f/fiche-article-des-ondes-gravitationnelles-pour-scruter-le-cosmos-21847.php)
- Peter Shawhan, La détection des ondes gravitationnelles, Dossier Pour la science, N° 45 (2004) , [http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/f/fiche-article-la-detection-des-ondes-gravitationnelles-22331.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/f/fiche-article-la-detection-des-ondes-gravitationnelles-22331.php)
- Pascaline Minet, Les nouveaux détecteurs d'ondes gravitationnelles, La Recherche, numéro 466 (2012), <http://www.larecherche.fr/physique-du-xxie-siecle/nouveaux-detecteurs-ondes-gravitationnelles-01-07-2012-91352>

## Notice biographique :

Après des études de physique fondamentale à l'Université Paris 7 Denis Diderot, j'ai soutenu une thèse en 2004, sur les analyses des premières données du réseau de télescopes pour l'astronomie gamma de très hautes énergies (> 100 GeV) H.E.S.S. .

A la suite de cette thèse je fus recruté au CNRS pour intégrer le groupe Virgo au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay (LAL). Le but de cette expérience est de détecter les ondes gravitationnelles prédites par la théorie de la Relativité Générale d'Einstein. Cet instrument, fruit d'une collaboration européenne depuis 1990, est un interféromètre kilométrique de Michelson, seul à même d'atteindre les sensibilités nécessaires pour détecter les ondes gravitationnelles émises par les phénomènes les plus violents de l'Univers comme les explosions d'étoiles.

Je suis également responsable d'une plateforme de tests au LAL reproduisant les dynamiques des miroirs attendus pour la prochaine génération d'interféromètres.

# L'anti-hydrogène, l'atome que l'univers n'a pas pu faire

Niels Madsen

[N.Madsen@swansea.ac.uk](mailto:N.Madsen@swansea.ac.uk)

Department of Physics, Swansea University, SA2 8PP Swansea, United Kingdom

Au début du temps il n'y avait que de l'énergie, l'univers étant trop chaud pour que la matière ait pu exister. Quand finalement la température était assez basse, la matière et l'antimatière se sont formées en symétrie, l'antimatière étant comme une image miroir de la matière. Mais quelque chose a dû arriver peu après, étant donné qu'aujourd'hui il n'y a plus d'antimatière dans l'univers. C'est ce mystère que nous cherchons à éclaircir.

L'anti-hydrogène est l'atome d'antimatière le plus simple. Il n'existe pas dans la nature, et il n'a jamais existé avant que l'homme ait décidé de le créer. En faisant des comparaisons entre l'anti-hydrogène et l'hydrogène, on espère contribuer à la compréhension de ce mystère.

Comme les antiatomes n'existent pas, il faut d'abord les créer à partir d'antiprotons et d'antiélectrons. Mais créer de l'antimatière demande beaucoup d'énergie ; la fameuse équation d'Einstein  $E = mc^2$ . L'énergie requise est 1000 fois plus élevée que l'énergie dégagée lors de la fusion de deux atomes d'hydrogène. Ce processus est celui fournissant au soleil son énergie. La création d'antimatière ne peut donc se faire que par petites quantités, environ un millier d'atomes à la fois.

Un atome d'hydrogène est constitué d'un proton et d'un électron. L'anti-hydrogène est donc constitué d'un antiproton et d'un antiélectron (positon). Les antiprotons sont les plus massifs et pour les créer, il faut un grand accélérateur de particules. Les expériences se font pour cette raison au CERN à Genève. Le positon, étant beaucoup moins massif, est produit naturellement dans certaines désintégrations nucléaires, et il est relativement facile de le récupérer directement d'une telle source radioactive.

L'expérience ALPHA (Antihydrogen Laser PHysics Apparatus) a réussi à combiner des antiprotons à des positons de manière à créer de l'anti-hydrogène. Il faut néanmoins encore pouvoir le stocker en l'isolant, car s'il entrait en contact avec de la matière, il s'annihilerait et libérerait toute son énergie. Comme l'anti-hydrogène est neutre, il n'est pas sensible aux champs électriques, utilisés pour guider les antiprotons et les positons. Un atome d'anti-hydrogène génère par contre un petit champ magnétique, et celui-ci peut être utilisé pour le piéger. Une espèce de piège peut donc être construit à l'aide de champs magnétiques externes. Un tel piège est néanmoins très peu profond. Exprimé en température, la profondeur maximale du piège est de 1 degré au dessus de zéro absolu. Ceci pose donc de très grandes difficultés pratiques pour stocker l'anti-hydrogène. Nous allons voir comment nous avons réussi à piéger plus de 300 atomes d'anti-hydrogène, malgré le fait que nous n'arrivons à en piéger qu'un seul par expérience.

Le but de notre expérience est de comparer l'anti-hydrogène avec l'hydrogène. Les spectres atomiques des deux atomes doivent être identiques. Cette hypothèse est au cœur des lois de la physique, et une différence même infime engendrerait des changements profonds dans notre compréhension de l'Univers. Une telle différence pourrait expliquer l'absence d'antimatière dans l'Univers.

Un grand pas vers des mesures de précision de l'anti-hydrogène a été franchi en 2012, en effectuant pour la première fois une transition quantique dans l'antiatome. En utilisant des micro-ondes, le champ magnétique de l'antiatome a pu être influencé de telle manière à ce qu'il change de direction. L'antiatome n'était ainsi plus dans une configuration permettant au champ magnétique de le piéger, et a pu quitter le piège. Cette expérience a pu être réalisée avec un seul atome à la fois, et nous avons pu jeter un premier coup d'œil sur la structure d'un antiatome.

### **Pour en savoir plus :**

- M. Charlton, S. Eriksson, C. A. Isaac, N. Madsen and D. P. van der Werf, Antihydrogen in a bottle , Physics Education 48, (2013) [ [doi:10.1088/0031-9120/48/2/212](https://doi.org/10.1088/0031-9120/48/2/212)].
- N.Madsen, Cold antihydrogen: a new frontier in fundamental physics, Roy. Soc. Phil. Trans A, 368, 3671 (2010) [[DOI: 10.1098/rsta.2010.0026](https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0026)].
- M. Charlton, S. Jonsell, L. V. Jørgensen, N. Madsen and D.P. van der Werf, Antihydrogen for precision tests in physics , Contemporary Physics 49 (2008).

### **Notice biographique :**

Niels Madsen est professeur associé à l'université de Swansea en Royaume-Uni. Originaire du Danemark, où il a fait son doctorat en physique expérimentale à l'Université d'Aarhus en 1998, il a ensuite passé trois ans au CERN comme boursier.

En travaillant sur le décélérateur d'antiprotons, il a commencé à s'intéresser à la physique de l'anti-hydrogène. En 2002, avec la collaboration ATHENA, il a réussi à faire les premiers atomes d'anti-hydrogène à basse énergie. En 2005, il a fondé avec d'autres collaborateurs la collaboration ALPHA.

En 2010 l'expérience ALPHA a réussi à piéger les premiers atomes d'anti-hydrogène, et en 2011 ceux-ci ont pu être maintenus dans le piège pendant 16 minutes. Cette réussite leur a permis de faire en 2012 les premiers pas vers la spectroscopie en faisant la première transition quantique dans un antiatome.

En 2010, Niels Madsen était boursier senior dans la société royale (Royal Society Senior Leverhulme Fellow), élu pour ses exploits dans les préparations pour la capture des antiatomes, et en 2011 il a reçu la médaille James Dawson pour l'excellence dans la recherche dans la physique des plasmas pour le même travail. Il est Fellow dans l'Institut de Physique (IoP) et membre de l'APS (American Physical Society).



# Fluorescence, phosphorescence et autres luminescences

Robert Pansu

[robert.pansu@ppsm.ens-cachan.fr](mailto:robert.pansu@ppsm.ens-cachan.fr)

Photophysique et Photochimie Supramoléculaires et Macromoléculaires. UMR 8531 du CNRS.  
Dep Chimie ENS de Cachan

Toutes les luminescences sont une émission de lumière par des états excités de la matière. L'origine de l'énergie d'excitation est variée : photo-, chimi-, sono- etc. Mais le spectre de la luminescence est caractéristique du matériau. Nous allons voir que ces états excités des molécules, bien qu'ayant une durée de vie courte (quelques nanosecondes) ont toutes les caractéristiques d'une espèce chimique<sup>1</sup>.

La fluorescence des molécules organiques a été utilisée pour la lutte contre la fraude dès le 16<sup>ème</sup> siècle portugais<sup>2</sup>. C'est au 19<sup>ème</sup> siècle, que Stokes a fondé la science de la luminescence par les premières mesures de spectres.

Toutes les luminescences, leurs spectres et leurs dynamiques se décrivent au moyen d'un diagramme des niveaux énergétiques : diagramme de bande pour la luminescence des semi conducteurs (CdSe, Si), diagramme de Jablonski pour les moléculaires (Fluorescéine, Uranyle, Europium). Dans le premier cas, la paire électron-trou est mobile ou délocalisée ; dans le second cas, l'état excité est localisé sur la molécule.

Les transitions entre ces niveaux énergétiques suivent des chemins variés. Elles peuvent être radiatives, non radiatives ou stimulées et on définit des rendements, des durées de vie de luminescence ou des gains laser. Pour les semi conducteurs la désactivation peut être biexcitonique, par activation thermique des pièges ou par effet tunnel. Dans la majorité des cas, elle est alors mal comprise car très dépendante de l'histoire de l'échantillon.

La réactivité d'un état excité est grande. La thermochimie montre qu'une part de l'énergie du photon absorbée est disponible pour la réaction. Le cycle de Born Haber permet de calculer le pKa des états excités. La relation de Rehm et Weller permet de prédire les vitesses de transfert d'électron<sup>3,4</sup>. Cette réactivité de l'état excité a été mise à profit pour étudier par photolyse impulsionnelle, les étapes élémentaires des réactions chimiques<sup>5</sup>.

Nous sommes entourés de matériaux fluorescents : azurants optiques, tubes fluorescents, LED. La fluorescence est présente dans notre culture : le vert radioactif, la police scientifique. La fluorescence est centrale dans certains domaines comme la détection des rayonnements ionisants, le séquençage de l'ADN, la microscopie cellulaire avec la révolution de la GFP<sup>6</sup>, la « photothérapie dynamique ».

---

<sup>1</sup> Nobel 1926 J. B. Perrin.

<sup>2</sup> B. Valeur, *Lumière et luminescence*, (2005) Belin ;

B. Valeur and M. N. Berberan-Santos, *A Brief History of Fluorescence and Phosphorescence before the Emergence of Quantum Theory*. J. Chem. Educ. 88, 731 (2011) ;

B. Valeur; M. r. N. Berberan-Santos, *Molecular Fluorescence: Principles and Applications*, (2012) 2nd Ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

<sup>3</sup> Nobel 1992 R. A. Marcus.

<sup>4</sup> E. Prasad and K. R. Gopidas. *Photoinduced Electron Transfer in Hydrogen Bonded Donor–Acceptor Systems. Study of the Dependence of Rate on Free Energy and Simultaneous Observation of the Marcus and Rehm–Weller Behaviors†*. JACS. 122, 3191 (2000).

<sup>5</sup> Nobel 1967 M. Eigen, R.G.W. Norrish, G. Porter ; Nobel 1999 A. H. Zewail.

<sup>6</sup> Nobel 2008 O. Shimomura, M. Chalfie, R. Y. Tsien.

### **Notice biographique :**

Robert PANSU (1958), agrégé en 1981, a obtenu son doctorat en Chimie Physique en 1988 à l'Université Paris XI sur les membranes de tensioactifs. Nous avons démontré l'existence des fragments de bicouche stables pour les tensioactifs bicaténaires chargés. Je suis un ancien boursier JSPS depuis mon stage à l'IMS à Okasaki où j'ai travaillé sur la localisation des molécules aromatiques à l'intérieur des micelles par fluorescence résolue en temps.

En 1994, j'ai développé le premier montage Fluorescence Lifetime Imaging (FLIM) in France que nous avons utilisé pour le dosage du calcium intracellulaire.

J'étudie actuellement la fluorescence de solides pour laquelle a été développé un microscope pour la vidéo imagerie de la fluorescence résolue en temps sous excitation en plein champ. Cette instrumentation nous permet d'étudier la fluorescence, la photochimie et les propriétés de nanocristaux fluorescents formés de molécules organiques. Nous montrons qu'à l'état solide, le petit nombre de quencher par centre émetteur explique une part importante de la complexité des déclins de fluorescence. Avec cela nous faisons des nanocapteurs ultralumineux pour la détection du TNT ou de l'hybridation de l'ADN.

### **Productions scientifiques :**

95 publications, 14 conférences invitées, 3 Brevets.

### **Animation scientifique :**

Comité Scientifique GDR Microscopie Fonctionnelle du Vivant,  
Organisation du prix Instrumentation de la DCP SFC/SFP,  
Membre du bureau de l'axe matériaux de Charm3at.

# Cristaux sous lumière synchrotron

Sylvain Ravy

[sylvain.ravy@synchrotron-soleil.fr](mailto:sylvain.ravy@synchrotron-soleil.fr)

Synchrotron SOLEIL, L'Orme des merisiers, St Aubin, 91192 Gif-sur-Yvette  
Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-sud, 91405 Orsay

Un synchrotron est une source de lumière qui produit des faisceaux si brillants qu'ils décuplent les possibilités d'étude de la matière. Dans ce grand instrument où la physique, la chimie et la biologie se côtoient, les techniques expérimentales les plus en pointe se complètent et les échantillons qu'on y étudie peuvent être de toute nature. Parmi eux, on y explore par diffraction des rayons X les cristaux, ces objets idéalement, partiellement ou artificiellement organisés. Découverte de la structure de l'ADN et du ribosome, des quasi-cristaux, mise au point de nouveaux matériaux, les applications de la diffraction des rayons X en font l'un des outils les plus utilisés pour sonder la matière.

Dans ce cours seront expliqués les principes, les applications et les perspectives de cette interaction lumière-matière particulière, devenue indispensable aux chercheurs.

## **Pour en savoir plus :**

- Cours de Sylvain Ravy : <http://www.lps.u-psud.fr/spip.php?article531>.
- Françoise Balibar : La science du cristal, Hachette, 1991 ; (Sur les cristaux).
- Roger Moret : Nanomonde, CNRS Editions, 2006 ; sur les nano-matériaux et nano-cristaux, un peu de rayonnement synchrotron.
- Michel Duneau et Christian Janot : La magie des matériaux, Editions Odile Jacob, 1996 ; sur les cristaux et les quasi-cristaux.
- James Watson : La double hélice, Hachette Pluriel, 1999 ; Histoire de la découverte de l'ADN par un de ses acteurs.

## **Notice biographique :**

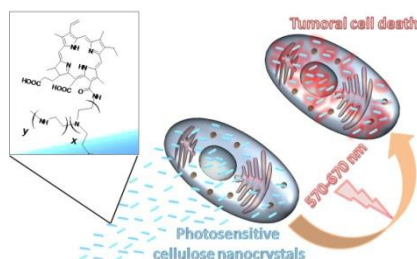
- Né le 26 avril 1961 à Quimper.
- Ingénieur Supélec 1984. Docteur de l'université d'Orsay 1988. Habilitation à diriger les recherches, Orsay 2001.
- 1986-2004 : Chargé de recherche au CNRS au Laboratoire de physique des solides, Orsay.
- 1995-1997 : Visiting Scientist à l'Université de Wisconsin-Milwaukee.
- 2004- : Directeur de recherche au CNRS, détaché au synchrotron SOLEIL en tant que responsable de la ligne CRISTAL ; <http://www.synchrotron-soleil.fr/Recherche/LignesLumiere/CRISTAL>.
- Spécialités : Diffraction des rayons X ; Rayonnement synchrotron ; Transitions de phases.
- 124 publications.

# Chimie verte et lumière : un duo prometteur pour la lutte anticancéreuse

Vincent Sol

[vincent.sol@unilim.fr](mailto:vincent.sol@unilim.fr)

Université de Limoges, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, 87060 Limoges



La photothérapie dynamique (PDT) repose sur l'utilisation combinée d'une substance photosensibilisante et d'une irradiation lumineuse appropriée pénétrant facilement dans les tissus. La substance photosensibilisante est conçue pour se concentrer dans les cellules ciblées (cellules malignes par exemple). L'irradiation déclenche ensuite la réaction photodynamique provoquant la production d'oxygène singulet, et l'apparition d'un stress oxydatif entraînant la mort cellulaire. Cependant une limite de son application concerne la sélectivité vis-à-vis des tissus malades.

Depuis une dizaine d'années, les nanotechnologies ont un vaste champ d'application de l'électronique aux matériaux en passant par la microtechnologie et l'informatique. Une nouvelle application des nanotechnologies concernant le ciblage et le transport de médicaments est actuellement en plein essor et concerne à la fois les domaines de la chimie, de la physique et de la biologie. Les nanobiodrogues sont des nanoparticules inertes qui se concentrent naturellement au niveau des tumeurs par effet EPR (Enhanced Permeability Release). Elles peuvent être dotées d'un élément de ciblage qui leur permet de se fixer sélectivement sur un tissu donné ou un type cellulaire spécifique.

L'objectif de ce travail est de développer des nanobiodrogues d'origine naturelle, comparables à des plateformes médicamenteuses, qui soient aptes à cibler spécifiquement les cellules cancéreuses mais également capables de les détruire par l'action de la drogue transportée (porphyrines ou chlorines synthétisées au LCSN : active uniquement sous illumination). Cette approche, radicalement différente des outils existant aujourd'hui pour le traitement du cancer, présente un certain nombre d'avantage :

- Premièrement, elle permet d'envisager un traitement ciblé et on-off (puisque le produit n'est actif que lorsqu'il est soumis à l'action de la lumière ou d'un champ magnétique).
- Enfin, l'efficacité de cette dernière étant liée à un temps d'exposition au champ ou à la lumière externe pour une charge donnée en nanoparticules, il sera possible d'ajuster la réponse thérapeutique.

## Notice biographique :

2011	Professeur et directeur du LCSN
2009-2010	Chercheur – University of Hull
2008	Habilitation à diriger des recherches - Université de Limoges
1998-2011	Maitre de Conférences, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Univ. de Limoges
1994-1997	Doctorat Université de Limoges

# Le boson de Brout, Englert et Higgs, le CERN, et les deux infinis

Michel Spiro

[michel.spiro@cea.fr](mailto:michel.spiro@cea.fr)

CEA - Saclay, Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers,  
91191 Gif-sur-Yvette

Cette conférence resitue l'importance de la découverte d'une nouvelle particule (que l'on devrait appeler le boson de Brout, Englert et Higgs plutôt que le boson de Higgs). Cette particule associée à un potentiel en forme de chapeau mexicain, confère une masse à toutes les autres particules élémentaires! Cette découverte annoncée le 4 Juillet 2012 a eu un grand retentissement médiatique (plus d'un milliard de personnes en ont entendu parler).

J'essaierai de la replacer dans le contexte de l'histoire de la physique, de notre compréhension de la matière aujourd'hui et je ferai la liaison avec le grand récit de la matière et de l'univers.

J'évoquerai aussi les questions que pose l'existence d'un tel boson de Brout, Englert et Higgs avec une masse de 126 GeV/c<sup>2</sup>, la robustesse inattendue de notre compréhension de la physique des particules et donc, le futur que l'on peut envisager aujourd'hui pour la discipline.

Cette conférence montrera aussi les conditions dans lesquelles cette découverte a pu être réalisée: une stratégie collaborative mondialisée de longue haleine. Le CERN avec la machine LHC et ses expériences constitue un modèle intéressant de science et d'innovation pour la paix.

## Notice biographique :

Michel Spiro, 66 ans, Conseiller Scientifique au CEA, Président du Conseil du CERN depuis Janvier 2010 jusqu'à fin 2012, a été directeur de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules) au CNRS et Délégué scientifique français au Conseil du Cern depuis 2003 jusqu'à fin 2009. Il a présidé également le groupe de travail sur l'élargissement géographique et scientifique du Cern depuis 2009, et l'Appec (coordination européenne des agences en astroparticules) depuis 2008. Auparavant, il a été président du comité scientifique des expériences auprès du LEP (Grand collisionneur électron-positon du Cern) de 1998 à 2001.

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Michel Spiro passe sa thèse de doctorat ès sciences à Saclay, au CEA, où il entre en 1970. En 1991, il est promu chef du service de physique des particules (SPP) du Dapnia (devenu depuis l'Irfu du CEA) qu'il dirige jusqu'en 1999. Il devient chargé de mission au CEA et directeur adjoint scientifique à l'IN2P3/CNRS, pour l'astroparticule et les neutrinos. En 2002, il est nommé chef du Dapnia, département d'Astrophysique, de physique des Particules, de physique Nucléaire et d'Instrumentation Associée au CEA, puis directeur de l'IN2P3/CNRS de 2003 à 2010. Ses premières recherches en physique des particules le conduisent à participer à la découverte des bosons intermédiaires W et Z (expérience UA1). Il se dirige ensuite vers l'étude des particules en provenance du cosmos en participant à l'expérience Gallex de détection des neutrinos solaires et à l'expérience Naines brunes, devenue depuis l'expérience de recherche d'objets sombres (Eros).

La qualité de ses recherches lui vaut de nombreux prix : prix Joliot-Curie de la Société française de physique en 1983, prix Thibaud de l'Académie des sciences de Lyon en 1985, prix Philip Morris en 1995, prix Félix Robin de la Société française de physique en 1999 et prix de l'Association française pour le rayonnement international en 2000. Il est chevalier dans l'Ordre de la légion d'honneur et officier dans l'ordre du mérite. Président de la division physique des particules de la Société française de physique de 1984 à 1988, il devient secrétaire de la division physique des hautes énergies de la Société européenne de physique en 2000, puis président en 2001. Parallèlement à ses activités scientifiques, Michel Spiro enseigne en qualité de maître de conférences à l'École polytechnique de 1983 à 1999, puis au DEA de physique théorique de Paris.

Au cours de la période 2002- fin 2009, il a été membre du comité de visite du département de physique de Harvard, président du comité de visite sur les astroparticules dans les centres Helmholtz en Allemagne, membre du Comité Scientifique du JINR à Doubna, président du Comité des très grandes infrastructures du CNRS (position qu'il a occupée de 2004 jusqu'à 2011)), Président du Conseil de l'Institut Laue Langevin à Grenoble, Président de ApPEC

(Astroparticle Physics European Coordination) et Président du groupe de travail de l'OCDE Global Science Forum sur les Astroparticules.

En décembre 2009 Michel Spiro a été élu pour 3 ans Président du Conseil du CERN, l'autorité la plus haute de l'Organisation.

De 2010 à 2011, il a été Directeur Scientifique Référent (DSR) du CNRS pour la région Alpes. Il a été aussi nommé au Conseil Scientifique de Thalès et à celui de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, expert à la Cour des Comptes pour le coût de l'électricité nucléaire, membre du comité d'attribution des bourses Européennes ERC synergie.

# Interaction laser-matière : relations structure/propriétés

**Philippe Thomas**

[philippe.thomas@unilim.fr](mailto:philippe.thomas@unilim.fr)

Laboratoire Science des Procédés Céramiques et de Traitements de Surface,  
Centre Européen de la Céramique, Université de Limoges

La "lumière laser" constitue un moyen privilégié pour étudier la matière et les nombreux aspects de son comportement sous éclairage. Dans le domaine des matériaux inorganiques cette lumière laser est notamment utilisée afin de caractériser l'organisation intime de la matière, par exemple la structure d'un cristal ou d'un verre au moyen de spectrométries vibrationnelles Infrarouge et Raman. En étudiant les caractéristiques de la lumière émise ou absorbée par les atomes ou leurs assemblages (molécules, agrégats, cristaux), les chercheurs peuvent ainsi mieux comprendre les propriétés dérivant de l'organisation structurale particulière du matériau à l'étude. Cette lumière est également utilisée afin de générer de nouvelles propriétés dans un matériau donné, en particulier des propriétés optiques.

Dans ce cours seront exposés les principes de cette interaction laser-matière ainsi que son application dans le domaine des relations structure/propriétés optiques de matériaux inorganiques.

## **Notice biographique :**

2004 - : Directeur de Recherche, **SPCTS**, Université de Limoges

1999 : Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Limoges

1991 – 2004 : Chargé de Recherche, **SPCTS**, Université de Limoges

1989 – 1991 : Ingénieur d'études puis chef de projets au laboratoire d'Etudes Technologiques, General Electric C.G.R (Issy Les Moulineaux)

1989 : Doctorat de l'Université de Limoges en Sciences option Matériaux

## **Activités de recherche :**

Dans le but d'améliorer les propriétés d'usage des matériaux céramiques et d'identifier de nouvelles propriétés, je m'intéresse à la genèse de nouvelles microstructures par différentes voies de synthèse. Je développe des études structurales et microstructurales adaptées aux différentes échelles, comprises entre la dimension de la maille cristalline et la taille du grain ou l'épaisseur de la couche.

Mon activité principale concerne plus particulièrement le thème de recherche suivant: "**Cristallochimie des éléments à paire électronique  $ns^2$  non liée – Matériaux et verres à base de  $TeO_2$  pour l'optique non linéaire**".

# Evolution de l'univers et de ses composantes

Catherine Cesarsky

[catherine.cesarsky@cea.fr](mailto:catherine.cesarsky@cea.fr)

CEA - Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette

Lorsque l'on tourne les yeux vers le ciel le soir et que l'on voit les étoiles et notre galaxie, la Voie lactée, on a une impression de grande sérénité et de permanence ; mais en fait l'univers et ses composantes n'ont cessé d'évoluer au cours du temps. Grâce aux énormes projets de la technologie et à l'application intelligente qui en a été faite pour l'observation du ciel, notre compréhension de l'univers a extraordinairement progressé depuis une vingtaine d'années.

Ainsi, depuis peu on observe la formation d'étoiles et de planètes au sein de denses nuages gazeux dans les galaxies, ou le détail des émissions de rayonnement de haute énergie (rayons X, rayons gamma) dus à l'explosion d'étoiles en fin de vie. Surtout, grâce aux grandes sensibilités atteintes, on peut observer des galaxies d'âges très divers, et l'on a maintenant des données exceptionnellement précises sur le fond de lumière fossile, reste de l'explosion originelle ou big-bang.

Je résumerai les grandes lignes de ces diverses évolutions, étoiles, galaxies, trous noirs géants, grandes structures, univers tout entier, en signalant la problématique actuelle et les principales questions qui sont encore ouvertes.

## **Notice biographique :**

Née en France, Catherine Cesarsky est diplômée en sciences physiques de l'Université de Buenos Aires (1965), docteur en astronomie de l'Université d'Harvard (1971) et a été post-doc au California Institute of Technology en Californie. Elle rentre en France en 1974 au CEA.

Après avoir effectué des travaux théoriques en astrophysique des hautes énergies, Catherine Cesarsky s'est tournée vers l'astronomie spatiale en tant que responsable de la caméra ISOCAM à bord du satellite européen ISO (Infrared Space Observatory), et de son programme scientifique. Elle a été successivement Chef du Service d'Astrophysique du CEA (1985-1993), Directrice des Sciences de la Matière au CEA (1994-1999), Directrice Générale de l'ESO (Observatoire européen austral ; 1999-2007), Haut-Commissaire à l'énergie atomique (2009-2012), et est actuellement Haut Conseiller scientifique au CEA.

Elle a présidé l'Union Astronomique Internationale de 2006 à 2009.

Elle est membre ou membre étranger de plusieurs académies (Académie des Sciences, Academia Europaea, Académie internationale d'astronautique, National Academy of Sciences USA, Académie royale suédoise des sciences, Royal Society of London, Académie des sciences d'Argentine), et est Commandeur dans l'Ordre du Mérite et dans l'Ordre de la Légion d'Honneur.



# Explorer la physique quantique avec des photons et des atomes

**Michel Brune**

[michel.brune@lkb.ens.fr](mailto:michel.brune@lkb.ens.fr)

Laboratoire Kastler - Brossel, ENS, 24 rue Lhomond, 75005 Paris

La physique quantique est de mise lorsqu'il s'agit de décrire l'infiniment petit. Cette théorie, établie au début du 20<sup>ème</sup> siècle, n'a cessé d'être vérifiée chaque fois qu'on l'a mise à l'épreuve de l'expérience. C'est une théorie incroyablement précise, capable de prédire des grandeurs physiques avec 12 chiffres significatifs. C'est sur cette théorie que repose la compréhension des atomes individuels, grâce auxquels il est possible de réaliser des horloges si régulières qu'elles définissent le temps avec 17 chiffres significatifs, des horloges qui ne retardent pas plus d'une seconde à l'échelle de l'âge de l'univers.

Cependant cette théorie, si bien vérifiée, n'a cessé d'intriguer les physiciens depuis un siècle car elle est, par bien des aspects, très étrange. Contrairement au sens commun, elle nous dit qu'une porte, régie par la physique quantique, peut être « à la fois » ouverte et fermée, elle dit même qu'un chat, le fameux « chat de Schrödinger », pourrait-être « à la fois » mort et vif. Plus sérieusement, elle stipule que les grandeurs physiques ne sont bien définies que si on les mesure, et que de plus les résultats sont fondamentalement aléatoires. Elle nous contraint à renoncer au déterminisme sur lequel reposent toutes les théories de la physique classique.

Nous introduirons les concepts de base de la physique quantique et les illustrerons en présentant les expériences réalisées dans le groupe de Serge Haroche où l'observation de quelques photons piégés entre deux miroirs à l'aide d'atomes individuels permet d'explorer l'étrangeté du monde quantique.

## **Notice biographique :**

Michel Brune est directeur de recherche au CNRS et professeur à l'école Polytechnique.

Après une classe préparatoire au lycée du Parc à Lyon, Il intègre l'ENS en 1983. Il a obtenu sa thèse en 1988 sur la « réalisation d'un micromaser à deux photons » sous la direction de S. Haroche au Laboratoire Kastler Brossel de l'Ecole Normale Supérieure.

Recruté chargé de recherche au CNRS dans le groupe de S. Haroche en 1989, il poursuit ses travaux dans ce groupe depuis cette date.