

Selon Samir Mathur, de l'université d'État de l'Ohio, un trou noir ne consisterait pas en une singularité de densité infinie entourée d'un horizon des événements, et ne comporterait pas de mur de feu. Il s'agirait plutôt d'une frontière de l'espace-temps, nommée *fuzzball*, composée de cordes, ces objets élémentaires introduits par la théorie du même nom.

Cette modélisation résout de nombreux problèmes, comme la présence d'une singularité et la non-conservation de l'information. En effet, la surface de la *fuzzball*, structurée par les cordes fondamentales, est rendue floue (*fuzzy* en anglais) par les effets quantiques et est située juste au-delà de la position de l'horizon selon la relativité générale.

Pour certains physiciens, l'absence de singularité et d'horizon rend la *fuzzball* plus proche de l'étoile à neutrons que du trou

noir. Il s'agirait de l'état de la matière le plus compact possible. La surface de la *fuzzball* n'entoure cependant pas un volume de matière répartie dans l'espace, elle marque la fin quantique de ce dernier.

Il existe tout de même certaines similarités avec le trou noir. Samir Mathur a montré que l'aire d'une *fuzzball* de masse donnée est presque identique à celle de l'horizon des événements d'un trou noir classique de même masse. Il a de

plus calculé son entropie, qui correspond à l'agencement des cordes, et a obtenu un résultat voisin de la formule de Bekenstein pour un trou noir.

La *fuzzball* émet par ailleurs un rayonnement dont les caractéristiques rappellent le rayonnement de Hawking des trous noirs. Néanmoins, le trou noir et la *fuzzball* se distinguent par leur description quantique, ce qui est important pour la question de la conservation de l'information.

La difficulté ne se présente pas avec la *fuzzball*, car il n'y a pas d'horizon des événements. L'information contenue dans la matière lors de sa formation s'échappe avec le rayonnement et il est possible, en théorie, de la reconstituer, contrairement au cas du trou noir.

En ce qui concerne la matière qui tombe sur une *fuzzball*, Samir Mathur pense que, par interaction avec la surface, elle induit des vibrations quantiques de cette dernière. L'information apportée s'ajouterait alors à celle de la *fuzzball* sans être perdue, et un observateur en chute libre vers une *fuzzball* suffisamment massive ressentirait quasiment ce que prédit la relativité générale pour un trou noir : rien de spécial puis un écartèlement chaotique.

Le mur de feu proposé par Joseph Polchinski et ses collègues n'existerait pas en raison d'une hypothèse injustifiée dans leur étude. Ces divers travaux restent toutefois très spéculatifs et le débat est loin d'être clos.

— Sean Bailly

l'espace prend fin à l'horizon, et l'astronaute qui y tombe se dissout en bits quantiques d'information au niveau de cette frontière. Et si le mur de feu existe, quelles seraient les implications pour les trous noirs réels, tel celui qui occupe le centre de la Voie lactée ? Il est trop tôt pour le dire.

Pour éviter des scénarios aussi étranges, les physiciens ont tenté de contourner la conclusion du mur de feu. Une piste consiste à dire que la particule B du rayonnement de Hawking peut être intriquée à la fois avec A et avec C si la particule A fait partie du système C : la particule se trouvant sous l'horizon est, d'une certaine façon, le même bit d'information que celui encodé dans le rayonnement de Hawking, même s'ils se trouvent à des endroits très différents.

Cette notion rejoint l'idée originale de complémentarité des trous noirs, mais pour faire de ce scénario un modèle concret, il semble encore nécessaire de modifier la physique quantique. Une façon radicale d'éviter cette difficulté est l'idée de Juan Maldacena et Leonard Susskind consistant à supposer que, dans chaque paire, les particules intriquées sont connectées par un microscopique trou de ver spatio-temporel. Une autre approche est de partir du principe que l'horizon des événements n'existe pas (voir l'encadré ci-dessus).

Stephen Hawking pensait que la relativité générale s'applique correctement aux trous noirs tandis que la physique quantique y atteint ses limites. Juan Maldacena concluait que la physique quantique n'est pas modifiée, mais que l'espace-temps est holographique. Peut-être la vérité se trouve-t-elle à mi-chemin.

Beaucoup d'idées ont été avancées, la plupart d'entre elles abandonnant l'un ou l'autre des principes admis de longue date. Il n'y a pas de consensus sur la bonne direction à suivre pour résoudre ces questions. Pour le moment, les chercheurs sont captivés par la découverte d'une nouvelle contradiction entre les deux théories centrales de la physique. Notre incapacité à déterminer si le mur de feu est une réalité traduit la limitation de nos formulations actuelles de la gravitation quantique. Les physiciens doivent repenser leurs hypothèses sur les rouages de l'Univers.

Ces remises en cause feront peut-être naître une compréhension plus profonde de la nature de l'espace-temps et des principes qui sous-tendent toutes les lois de la physique. À terme, en démêlant les paradoxes au cœur du mur de feu des trous noirs, nous réaliserons peut-être la percée nécessaire pour unifier la physique quantique et la relativité générale en une seule théorie. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Almheiri *et al.*, *Black holes : complementarity or firewalls ?*, *JHEP*, vol. 2013, n° 2, article 62, 2013.

R. Parentani, *Les prédictions de Stephen Hawking*, *Dossier Pour la Science*, n° 75, avril-juin 2012.

L. Susskind, *Trous noirs : la guerre des savants*, Robert Laffont, 2010.

J. Maldacena, *La gravité est-elle illusion ?*, *Pour la Science*, n° 339, janvier 2006.



N°455 – septembre 2015
□ réf. M0770455



N°454 – août 2015
□ réf. M0770454



N°453 – juillet 2015
□ réf. M0770453



N°452 – juin 2015
□ réf. M0770452



N°451 – mai 2015
□ réf. M0770451



N°450 – avril 2015
□ réf. M0770450



N°449 – mars 2015
□ réf. M0770449



N°448 – février 2015
□ réf. M0770448



N°447 – janvier 2015
□ réf. M0770447



N°446 – décembre 2014
□ réf. M0770446



N°445 – novembre 2014
□ réf. M0770445



N°444 – octobre 2014
□ réf. M0770444



N°443 – septembre 2014
□ réf. M0770443



N°442 – août 2014
□ réf. M0770442



N°441 – juillet 2014
□ réf. M0770441

POUR LA SCIENCE

Complétez votre collection
dès maintenant!

5,50€ dès le 2^e numéro
acheté!

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • e-mail : pourlasciencevpc@daudin.fr

☐ Oui, je commande des numéros
de **Pour la Science** au tarif unitaire
de 5,50€ dès le 2^e acheté.

Je reporte ci-dessous les références à 6 chiffres correspondant aux numéros commandés et au format souhaité :

1^{re} réf. _____ 01 × 6,50 € = _____ 6,50 €

2^e réf. _____ × 5,50 € = _____ €

3^e réf. _____ × 5,50 € = _____ €

4^e réf. _____ × 5,50 € = _____ €

5^e réf. _____ × 5,50 € = _____ €

6^e réf. _____ × 5,50 € = _____ €

Frais port (4,90€ France - 12€ étranger) + _____ €

Je commande la reliure **Pour la Science**
(capacité 12 n°s)
au prix de 14 € + _____ €

TOTAL À RÉGLER = _____ €

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P. : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. : _____

Pour le suivi client (facultatif)

Mon e-mail pour recevoir la newsletter **Pour la Science*** : _____

* à remplir en majuscules

Je choisis mon mode de règlement :

☐ par chèque à l'ordre de **Pour la Science**

☐ par carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____ Code de sécurité _____
(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

TOUTES LES ARCHIVES
DEPUIS 1996 SUR
www.pourlascience.fr

Le daguerréotype qui mesurait la lumière

Jérôme Fatet

Au XIX^e siècle, un jeune physicien, Edmond Becquerel, détourne le tout nouveau procédé photographique de Louis Daguerre en un appareil pour analyser la lumière. Il prouve ainsi l'existence des ultraviolets.

Août 1839. Avec éloquence, l'astronome François Arago révèle à l'Académie des sciences le procédé du daguerréotype, une technique photographique «exacte», «prompte», «économe» et «à la portée de tout le monde», découverte par l'artiste Louis Daguerre «à la suite d'un nombre immense d'essais minutieux, pénibles, dispendieux». Daguerre produit des positifs simples par réaction photochimique en exposant à la lumière solaire des plaques métalliques recouvertes d'halogénures d'argent.

L'invention, nommée daguerréotypie, suscite vite des passions, tant parmi les scientifiques de renom que chez d'autres en devenir, tel Edmond Becquerel, tout juste licencié en sciences physiques à la faculté des sciences de Paris. Le jeune homme s'empare de la technique. Il n'a que 19 ans, appartient à la bourgeoisie parisienne et dispose des moyens financiers et des connaissances scientifiques nécessaires à sa pratique. Il apprend à en maîtriser les procédés et réalise dès cette date de nombreux daguerréotypes,

apportant même des améliorations à l'invention de Daguerre. Cette nouvelle passion l'amène aussi à mettre au point un appareil au fonctionnement inédit, l'actinomètre électrochimique, pour étudier un sujet très débattu à l'époque : la nature du rayonnement solaire.

Le cheminement conduisant à la construction d'un appareil destiné à comprendre un nouveau phénomène et à en expliquer les mécanismes est un événement singulier dans l'histoire des sciences lorsque cet instrument ne s'inscrit pas *a priori* dans un cadre théorique stabilisé. En effet, dans ces conditions, il n'est pas possible de justifier du fonctionnement de l'appareil par des références à des connaissances maîtrisées. La correspondance des premiers résultats obtenus grâce à celui-ci avec un savoir déjà accepté semble alors le seul moyen de donner un certain degré de fiabilité aux principes avancés pour en



CE DAGUERRÉOTYPE DE PARIS a été réalisé par Edmond Becquerel en 1840. Dès la divulgation du procédé, un an plus tôt, le jeune homme s'est passionné pour cette technique, qu'il a même améliorée.

L'ESSENTIEL

- En 1839, E. Becquerel se passionne tant pour la photographie que pour l'étude de la lumière.
- Une dispute avec le physicien Biot l'amène à les combiner en un nouvel appareil.
- Il mesure ainsi le profil du spectre solaire et prouve l'existence de lumière invisible au-delà du violet.

justifier l'usage. Et quand l'objet d'étude est aussi complexe et discuté que la nature du rayonnement solaire, un tel processus est nécessairement soumis à la discussion de la communauté scientifique. Non seulement le jeune Becquerel surmonte ces difficultés, mais son actinomètre lui permet d'apporter des éléments nouveaux au débat sur la nature de la lumière et ses effets sur la matière.

La lumière, corpuscule ou onde ?

Jusqu'au début du XIX^e siècle, la théorie dominante expliquant la nature de la lumière est celle de Newton, dans laquelle la lumière est constituée de « corpuscules » de masse non nulle disposant de multiples propriétés, pour la plupart inaccessibles à l'expérience. Mais, au cours du XVIII^e siècle et au début du XIX^e, elle s'est complexifiée pour tenter d'intégrer les nombreuses anomalies que les découvertes expérimentales font apparaître.

Lorsque le physicien Augustin Fresnel publie en 1818 une théorie ondulatoire de la lumière expliquant de manière beaucoup plus simple les phénomènes anciens ainsi que la plupart des anomalies, une controverse s'engage entre les défenseurs des deux théories. Si les jeunes scientifiques ont vite adopté la théorie ondulatoire, certains conservateurs défendent la théorie newtonienne avec acharnement, tel le physicien Jean-Baptiste Biot. Néanmoins, lorsque Becquerel commence ses recherches, en 1839, la théorie corpusculaire de Newton est déjà quasiment abandonnée.

Le jeune homme vient d'obtenir sa licence et, accompagné dans sa pratique par son père, l'académicien Antoine-César Becquerel, il s'est lancé dans l'analyse des effets de la lumière, en particulier la lumière solaire.

Premier d'une dynastie qui atteindra les sommets de la reconnaissance scientifique quand Henri, fils d'Edmond, obtiendra le prix Nobel de physique aux côtés des Curie, Edmond porte en partie la responsabilité de la réussite sociale de sa famille. Son père, issu d'un milieu modeste, parvenu au prix de lourds efforts et de grands sacrifices à s'élever dans l'échelle sociale, enseigne très tôt à ses descendants le goût de la réussite et de l'ascension sociale. La voie scientifique

en est un moyen privilégié au XIX^e siècle.

César n'a pas seulement des ambitions sociales : il a des partis pris scientifiques et méthodologiques marqués. Il estime qu'il n'est pas possible de travailler en physique de façon purement théorique comme ce peut être le cas dans les grandes écoles à l'époque. Pour lui, rien ne sert d'élaborer des hypothèses discutables si elles ne sont pas inspirées par l'expérience. Par cette école paternelle, Edmond est préparé à se construire un parcours professionnel particulier, éloigné des habitudes de l'époque. D'abord brillant élève du collège Bourbon, il devient en 1839 assistant de son père à la chaire de physique appliquée au Muséum national d'histoire naturelle.

En 1840, il soutient une « double thèse » de doctorat en physique et en chimie à la faculté des sciences de Paris intitulée *Des effets chimiques et électriques produits sous l'influence de la lumière solaire*. Dans ce travail, il tente de comprendre, d'expliquer et même d'évaluer de manière objective les effets de la lumière solaire sur la matière par l'intermédiaire des courants électriques que la lumière y produit. Il veut s'affranchir de toute interprétation liée à la perception visuelle et pense qu'en mettant au point un appareil permettant de mesurer ces effets électriques, il pourra sinon les quantifier, au moins les évaluer.

L'objection de Biot

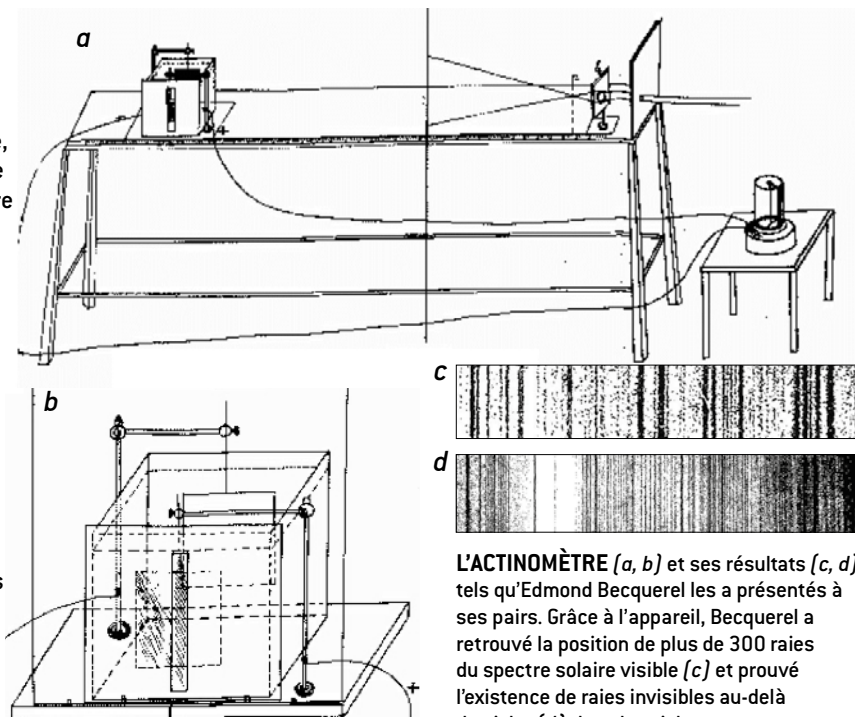
Pour Becquerel, la quantité de rayons solaires est proportionnelle à la quantité de substance qui réagit, laquelle est proportionnelle au maximum de déviation du galvanomètre relié à la substance. Alors doyen de la faculté des sciences de Paris et membre de l'Académie des sciences, Biot réagit très vivement, dès la première publication de Becquerel sur ce sujet. Théoricien chevronné, il est reconnu par ses contemporains comme un expérimentateur de talent. Le désaccord entre les deux physiciens repose, caché derrière des considérations expérimentales, sur leurs conceptions de la nature de la lumière.

Dans son article, Becquerel propose la description de différents appareils destinés à réaliser son projet. L'un d'eux est constitué d'un vase noir contenant des liquides superposés d'inégales densités. Dans chacun de ces liquides est dissoute une substance qui doit réagir avec celle du second liquide sous l'effet de la lumière. Lors de la réaction photochimique, le déséquilibre électrochimique



L'ACTINOMÈTRE ÉLECTROCHIMIQUE DE BECQUEREL

L'appareil (a) est constitué d'une table, au bout de laquelle la lumière solaire entre à travers un petit trou percé dans un écran. La lumière traverse un prisme qui la décompose, afin que l'on puisse choisir la lumière monochromatique souhaitée. À l'autre bout de la table, la mesure s'effectue dans une cuve (b) constituée d'une boîte opaque remplie d'eau acidulée où plongent deux plaques d'argent recouvertes de bromure d'argent. Chaque plaque est reliée à une borne d'un galvanomètre placé loin de la table. On peut, par l'intermédiaire d'une trappe mobile, n'éclairer qu'une plaque avec la lumière décomposée, l'autre restant dans l'obscurité. L'appareil est utilisable plus d'une dizaine d'heures avec les mêmes plaques, ce qui permet d'obtenir des résultats comparables, et donc de tirer des conclusions sur les effets des différentes lumières étudiées.



L'ACTINOMÈTRE (a, b) et ses résultats (c, d), tels qu'Edmond Becquerel les a présentés à ses pairs. Grâce à l'appareil, Becquerel a retrouvé la position de plus de 300 raies du spectre solaire visible (c) et prouvé l'existence de raies invisibles au-delà du violet (d) : les ultraviolets.

créé est mesuré par un galvanomètre dont chaque borne est reliée à une électrode de platine plongeant dans chacun des liquides.

Mais Biot, qui refuse la proportionnalité entre la mesure du courant et la quantité de rayons, cherche un moyen de la discréditer sur le plan expérimental. Il objecte alors qu'il peut y avoir des effets de la lumière directement sur les électrodes de platine, s'ajoutant de manière inquantifiable aux effets attendus et rendant la comparaison des mesures inutile. Becquerel doit répondre à cette objection pertinente.

La lumière produit bien un effet électrique

Pour ce faire, il propose un nouveau système expérimental, composé d'une « boîte en bois noircie intérieurement et divisée, au moyen d'une membrane très mince, en deux compartiments », remplie d'eau légèrement acidulée, dans laquelle plongent deux plaques de platine, reliées chacune à une borne d'un galvanomètre. L'équilibre entre les électrodes s'effectuant dans l'obscurité, il éclaire ensuite une seule des deux électrodes. Si une réaction photochimique a lieu, elle ne se produira que sur la plaque éclairée. Il devrait apparaître

un déséquilibre électrique et l'aiguille du galvanomètre devrait être déviée. Il s'agit donc, en utilisant le principe d'une mesure d'un courant, d'évaluer les effets de la lumière solaire sur la matière *via* une mesure différentielle.

Réalisant des mesures avec des plaques de platine nues, Edmond Becquerel mesure dans un premier temps des courants, mais, en reproduisant ces expériences avec les mêmes plaques découpées et chauffées au rouge, il ne mesure plus rien. Il en conclut que les premiers effets mesurés étaient dus à une couche d'impuretés ou de poussières présente à la surface des plaques avant chauffage. Comme les plaques du premier appareil étaient découpées, il considère ses résultats comme validés : les électrodes ne contribuant pas elles-mêmes aux courants mesurés, il a donc bien obtenu des courants mesurables.

Ce résultat est actuellement celui retenu dans la plupart des documents de vulgarisation traitant d'énergie renouvelable solaire, plaçant Becquerel comme découvreur de l'effet photovoltaïque, puisqu'il est le premier à mesurer des effets électriques produits par la lumière. S'il utilise ce terme en 1839, l'effet mis en évidence n'est que chimique et n'a que peu de rapport avec celui intervenant dans les panneaux solaires

actuels, où l'électricité est produite par des semi-conducteurs. Les panneaux solaires ne se dégradent pas sous l'effet de la lumière, contrairement aux substances photosensibles, en photographie par exemple.

Satisfait, Becquerel va plus loin. La présence d'effets électriques mesurables lorsqu'une couche très fine de substance recouvre les plaques (les impuretés de son expérience avec les plaques nues) l'amène à imaginer se servir de son appareil de manière différente. En effet, il utilise, dans sa pratique du daguerréotype, des plaques d'argent recouvertes d'une mince couche d'halogénure d'argent réactif à la lumière. Il imagine donc de remplacer dans son appareil les plaques de platine par des plaques dont il dit lui-même qu'il les prépare de la même façon que les plaques daguerréotypes.

Les mesures qu'il effectue avec ce système le conduisent à présenter les conclusions suivantes à l'Académie des sciences :

1) Des rayons qui accompagnent les rayons les plus réfrangibles de la lumière solaire, font éprouver à des lames métalliques plongées dans un liquide, une action telle, qu'il en résulte des effets électriques auxquels on ne peut attribuer une origine calorifique.

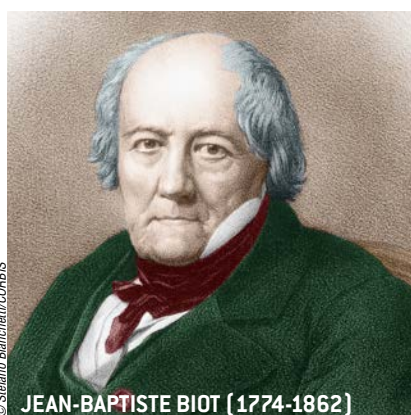
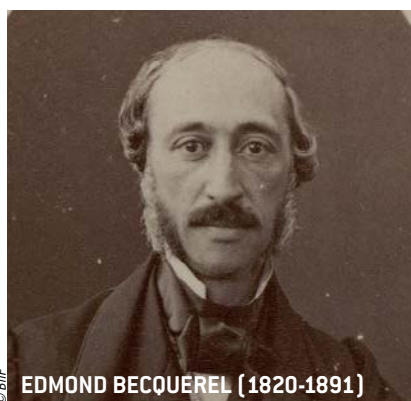
2) La décomposition du chlorure, du bromure et de l'iodure d'argent sous l'influence

de la lumière, produit des effets électriques qui peuvent servir à déterminer le nombre de rayons chimiques actifs.

À l'époque, le terme «rayons chimiques» désigne les rayons qui provoquent les réactions photochimiques. Leur nature n'étant pas connue, c'est ce que Becquerel explore. On parle aussi à l'époque de rayons calorifiques (qui provoquent la sensation de chaleur) et de rayons phosphorogéniques (provoquant la phosphorescence).

Dès ce moment, Becquerel envisage d'utiliser les résultats de cet appareil pour analyser quantitativement la lumière, par l'intermédiaire des effets qu'elle produit sur les halogénures d'argent. Ses principes expérimentaux restent identiques, mais le fondement de ses travaux s'inverse. Jusque-là, il s'agissait d'étudier les effets de la lumière sur la matière en faisant varier les substances analysées. Dorénavant, la substance étant fixe, il étudie la lumière elle-même.

De nouveau, Biot s'oppose à ces conclusions, puisqu'elles impliquent une proportionnalité entre courant mesuré et quantité de lumière. Il objecte que ces effets,



s'ils accompagnent la lumière, sont sans doute provoqués par des éléments associés aux corpuscules qui la constituent. Mais la quantité qui se propage avec chaque corpuscule est inconnue et sans doute variable. Étudier la lumière de manière quantifiée est alors encore plus problématique que d'en étudier ses effets. Mais que faudrait-il à Becquerel pour ne plus subir ce type d'objection ? Obtenir, grâce à son système d'analyse des rayons chimiques, des résultats acceptés par tous, même les newtoniens, pour la lumière visible. Il décide pour cela d'ajouter à son appareil un prisme pour décomposer la lumière solaire. Il espère ainsi retrouver, sous la forme de courants, les raies qui composent le spectre lumineux.

Il modifie donc son appareil et le présente, en 1841, sous le nom d'actinomètre électrochimique (voir l'encadré page ci-contre). Le terme actinomètre désigne à l'époque les appareils permettant de mesurer l'activité de la lumière solaire. L'actinomètre électrochimique permet donc d'effectuer ces mesures par l'intermédiaire d'un procédé électrochimique.

Toutes les archives

- Pour la Science
- Dossier Pour la Science

depuis
1996



Disponibles sur www.pourlascience.fr*

* Numéros à lire en ligne ou à télécharger au format PDF

Une réplique de l'appareil

La réplique d'expériences historiques est l'un des outils dont disposent les historiens des sciences pour explorer un sujet. Ses principes reposent sur la réutilisation de matériels d'époque ou, le cas échéant, leur reconstruction avec les techniques anciennes, afin de réaliser les expériences anciennes à l'identique de celles décrites et publiées.



L'enjeu n'est pas de vérifier si le chercheur de l'époque s'est trompé ou non, mais de comprendre comment sont obtenus les résultats. Les expériences d'Edmond Becquerel ont toutes été répliquées. On a

ainsi pu renforcer la conviction que les techniques daguerréotypes ont joué un grand rôle dans la mise en œuvre de l'actinomètre électrochimique. On a aussi établi des liens entre divers savoir-faire artisanaux – en tonnellerie puisqu'on utilise des boîtes en bois étanches – et d'autres travaux postérieurs de Becquerel. Sans cette exploration par réplique, ces informations seraient restées masquées.

– J. F.

© Jérôme Fatet

À l'aide de l'actinomètre, Becquerel analyse de façon très précise les effets de la lumière solaire. Il affine de plus en plus les parties de spectre qu'il fait entrer dans la cuve de l'actinomètre, afin d'étudier les effets de chacune des parties, et mesure par l'intermédiaire du galvanomètre les courants correspondants produits.

À la fin de 1841, il observe qu'il y a de nombreuses zones du spectre solaire qui ne produisent pas d'effet sur le galvanomètre. Il en déduit donc qu'il n'y a pas de lumière dans ces zones. Il vérifie ainsi les positions de plus de 300 des raies répertoriées par Joseph Fraunhofer une vingtaine d'années plus tôt avec son œil comme détecteur. Fabricant allemand d'instruments d'optique, Fraunhofer avait à cette fin utilisé une lunette équipée d'un réseau d'excellente qualité de sa fabrication pour décomposer la lumière. Il est l'inventeur du spectroscopie.

Pour Becquerel, et malgré les remarques persistantes de Jean-Baptiste Biot, cette concordance de résultats, par des moyens très différents, prouve l'efficacité de son appareil. Il peut lui répondre que son appareil n'est pas seulement un détecteur d'éléments congénères à la lumière produisant les effets chimiques, mais un détecteur de lumière qui en permet l'analyse par la mesure des effets électrochimiques. L'actinomètre électrochimique est devenu un appareil efficace pour analyser la lumière solaire. Il n'a plus besoin de justifier, pour ces expériences, d'une quelconque proportionnalité, puisqu'il s'agit ici seulement

■ L'AUTEUR



Jérôme FATET est maître de conférences en histoire et épistémologie des sciences à l'université de Limoges.

■ BIBLIOGRAPHIE

J. Fatet, *Le Soleil, source de controverse scientifique au milieu du XIX^e siècle ?*, dans *Dans le champ solaire* (sous la dir. de S. Le Gars et G. Boistel), pp. 123-140, Hermann, 2015.

J. Frercks et al., *Reception and discovery : the nature of Johann Wilhelm Ritter's invisible rays*, *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 40, pp. 143-156, 2009.

J. Fatet, *Les recherches d'Edmond Becquerel sur la nature de la lumière entre 1839 et 1843. Histoire d'une interaction réussie entre science et photographie*, thèse de doctorat, 2005.

d'une question binaire : présence ou non de rayons lumineux et de rayons chimiques.

Edmond Becquerel peut alors diriger ses recherches dans une direction nouvelle. Il a observé depuis longtemps que des effets importants se produisent sur le bromure d'argent dans l'extrémité violette du spectre. Il se lance donc dans l'analyse de celle-ci, et de la zone au-delà du violet. En 1843, il détecte, grâce à l'actinomètre, la présence de trois raies sombres dans cette zone invisible. Ce résultat sera essentiel pour déterminer l'étendue de ce qu'on nomme lumière. En effet, d'une part, la présence de ces raies prouve, par l'identité des propriétés, que ce qui est analysé est bien de la lumière, même si elle est invisible pour l'œil humain. D'autre part, le fait que cette analyse se fasse en déplaçant simplement le spectre pour envoyer dans la cuve ce qui se trouve au-delà du violet prouve que cette lumière invisible se situe dans la continuité du spectre solaire visible. Il conclut d'ailleurs un article en disant que les ultraviolets « existent, et ce qui le prouve, ce sont les raies que l'on trouve dans cette partie du spectre ».

De la lumière invisible au-delà du violet

Vingt ans plus tôt, le physicien allemand Johann Ritter avait lui aussi découvert le rayonnement ultraviolet, mais il n'avait pas compris qu'il s'agissait de rayons de même nature que la lumière visible et sa trouvaille n'avait pas eu d'écho. Les travaux de Becquerel ont un retentissement important, puisqu'ils permettent d'élargir les connaissances sur la nature de la lumière, ses propriétés et son étendue. Après ces travaux, on considérera, pendant toute la période où la théorie ondulatoire de la lumière dominera, que l'étendue de ce qu'on nomme « lumière » est plus vaste que ce que peut voir l'œil humain. Il y a de la « lumière invisible » après le violet, et elle est de même nature que la lumière visible. Plus tard, avec les travaux de Maxwell, ce spectre sera étendu à l'ensemble des rayonnements électromagnétiques.

La théorie ondulatoire de Fresnel et Becquerel n'est plus celle en vigueur aujourd'hui. Néanmoins, les modèles suivants de la lumière, qui reposent sur la mécanique quantique, ne remettront pas en cause cette continuité du spectre électromagnétique. ■

les conférences

 à la Cité des sciences et de l'industrie

Entrée libre dans la limite des places disponibles

CYCLE DE 12 CONFÉRENCES
Révolutions animales: de la science au droit

En quatre actes, des experts, des chercheurs, des penseurs, des juristes portent un nouveau regard sur les animaux et suscitent le débat sur leurs droits.

Conseillère scientifique: Karine Lou Maignon, auteure, journaliste, présidente de l'association Animal Révolutions.

Avec, entre autres: Eric Baratay, Marc Bekoff, Gilles Bœuf, Florence Burgat, Aymeric Caron, Valérie Chansigaud, David Chauvet, Yves Christen, Vinciane Despret, Ludovic Dickel, Antoine Goetschel, Raphaël Larrère, Thomas Lepeltier, Pierre Jouventin, Steve Wise, ...

Les samedis du 19 septembre 2015 au 30 janvier 2016 à 14h30

programme complet sur cite-sciences.fr

Avec le soutien de

les conférences

 au Palais de la découverte

Entrée libre dans la limite des places disponibles

CYCLE DE 7 CONFÉRENCES
1915-2015: l'odyssée de l'espace-temps

Hommage au travail et à l'héritage d'Einstein sur la gravitation.

Conseillers scientifiques: Jean-Michel Alimi, Jean-Pierre Martin, David Valls-Gabaud

Avec: Aurélien Barrau, Luciano Boi, Philippe Brax, Pier Stefano Corasaniti, Jean Eisenstaedt, Gilles Esposito-Farèse, Éric Gourgoulhon, Jean-Marc Lévy-Leblond, Jean-Pierre Luminet.

Les jeudis du 15 octobre au 10 décembre 2015 à 19h

programme complet sur palais-decouverte.fr

En partenariat avec

Avec le soutien de

Abonnez-vous à

■ POUR LA

SCIENCE



+ En CADEAU de bienvenue :

Les gènes voyageurs, d'Éric Baptiste

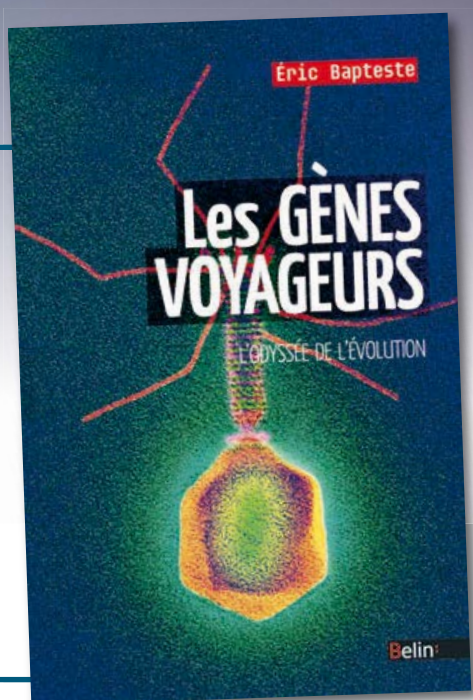
Savez-vous que l'échangisme est une pratique très répandue chez les microbes ? Que des organismes comme les plantes ou les animaux deviennent en partie ce qu'ils mangent ? Que les bactéries sont impliquées dans des guerres qui durent des millions d'années et qu'elles entretiennent une vie sociale intense ? Ces phénomènes biologiques sont provoqués par des voyages de gènes inattendus, qui transforment la majeure partie du vivant. Une découverte récente qui pourrait bien révolutionner les sciences de l'évolution...

Éditions Belin - Paru en 2013 - 192 pages - Prix unitaire : 20,40 €

Votre abonnement
INTÉGRAL

8,20€
par mois
seulement

le magazine
+ le hors-série chez vous
+ l'accès numérique illimité à
toutes les archives
sur **www.pourlascience.fr**



OFFRE SPÉCIALE D'ABONNEMENT

POUR LA
SCIENCE

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à :
Groupe Pour la Science - Service Abonnements - Libre réponse 90 382 - 75 281 Paris cedex 06

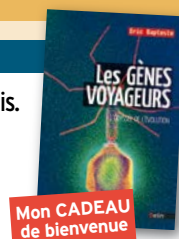
1. MA FORMULE

☐ **OUI**, je m'abonne à l'offre « Intégrale » à 8,20€ par mois.

Je reçois le magazine *Pour la Science* (12 n°/an)

+ son hors-série *Dossier Pour la Science* (4 n°/an)

+ mon livre. Je bénéficie aussi de l'accès numérique illimité aux archives sur **www.pourlascience.fr**.



Mon CADEAU
de bienvenue

Mon e-mail obligatoire pour l'accès aux contenus numériques (à remplir en majuscules)

@

À réception de votre bulletin, comptez 5 semaines pour recevoir votre n° d'abonné. Passé ce délai, merci d'en faire la demande à abonnements@pourlascience.fr

2. MES COORDONNÉES

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Pays :

Tél. :

Pour le suivi client (facultatif)

3. MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ (IPVI) Je règle par prélèvement 8,20€ par mois* et reçois en cadeau le livre *Les gènes voyageurs* (OGEVO). Je remplis l'autorisation ci-dessous en joignant impérativement un IBAN/BIC.

*Pour la France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'Europe (pays de la zone SEPA) : 9,60€ par mois. Abonnement en reconduction tacite dénonçable à tout moment auprès du service abonnement avec un préavis de 3 mois. Conditions complètes sur **www.pourlascience.fr**

AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT PAR MANDAT SEPA

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

1 - COORDONNÉES DU TITULAIRE DU COMPTE

Nom, prénom

Adresse

Numéro et nom de la rue

Code postal

Ville

Pays

2 - COORDONNÉES BANCAIRES

IBAN

Numéro d'identification international du compte bancaire - IBAN (International Bank Account Number)

BIC

Code international d'identification de votre banque - BIC (Bank Identifier Code)

Type de paiement

Paiement récurrent/répétitif

POUR LA
SCIENCE

3 - Date et signature obligatoires

À

Date

Signature :

NOM DU CRÉANCIER

Pour la Science - 8 rue Férou - 75006 Paris

ICS N° FR92ZZZ426900

N° de référence unique de mandat (RUM)

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

☐ (ITA) Je préfère régler mon abonnement d'un an en une seule fois 99€** sans bénéficier du cadeau.

** Offre valable en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 16€ - autres pays 35€.

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire N°

Date d'expiration

Clé

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case ☐.