

Européens devient impressionnante au Paléolithique supérieur. Bien que vivant dans des conditions beaucoup plus difficiles, les hommes anatomiquement modernes d'Europe avaient un ratio vieux-jeunes deux fois supérieur à celui des hommes modernes au Paléolithique moyen...

Quel phénomène culturel a pu entraîner un nombre significatif d'Européens à vivre plus longtemps au Paléolithique supérieur ? Seule certitude : l'allongement de leur durée de vie a eu d'importantes conséquences. Comme l'ont montré, entre autres, Kristen Hawkes, de l'Université d'Utah, et Hillard Kaplan, de l'Université du Nouveau-Mexique, en analysant la vie de plusieurs groupes de chasseurs-cueilleurs de notre époque, les grands-parents contribuent régulièrement à la vie économique et sociale de leurs descendants. Ils rendent ainsi possible l'accroissement de la progéniture de leurs enfants tout en augmentant ses chances de survie. Comme l'a fait ma propre grand-mère en me racontant l'histoire de mes ancêtres et en me mettant en relation avec les autres membres de ma famille, les grands-parents renforcent aussi les liens sociaux complexes qui participent de l'organisation des sociétés humaines.

Les aînés transmettent aussi d'autres types de connaissances culturelles, qu'elles soient environnementales (plantes toxiques, sources d'eau douce, etc.) ou techniques (tresser un panier, tailler un couteau de pierre, etc.). Des recherches menées par Pontus Strimling, de l'Université de Stockholm, ont montré que la répétition a une importance cruciale pour une bonne transmission des règles et des traditions d'une culture. Les familles multigénérationnelles ont plus de chances de pouvoir inculquer à leurs descendants les leçons importantes. L'allongement de la vie a sans aucun doute entretenu ce transfert d'information, qui a favorisé la constitution de liens de parenté très élaborés et autres réseaux d'entraide indispensables quand les temps sont durs.

L'accroissement de l'espérance de vie s'est aussi sans doute traduit par une augmentation de la population, puisqu'une génération absente par le passé, mais toujours en état de procréer, s'est ajoutée. Or des populations plus vastes sont les creusets de nouveaux comportements. En 2009, Adam Powel, de l'University College de Londres, et ses collègues ont montré que la densité de la population joue

aussi un rôle essentiel dans le maintien du degré de complexité culturelle. Comme d'autres chercheurs, ils soulignent que des populations plus denses ont certainement encouragé le développement de réseaux commerciaux au long cours, de coopérations complexes, ainsi que de toute la culture symbolique (bijoux, peintures corporelles, etc.). Vues sous cet angle, les caractéristiques du Paléolithique supérieur telles que la généralisation de l'utilisation de symboles ou l'introduction de matériaux exotiques dans la fabrication des outils apparaissent comme des conséquences de l'accroissement de la population.

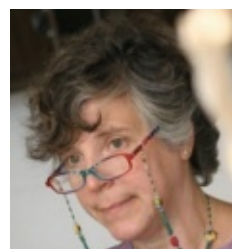
L'allongement de la vie a sans doute aussi eu une autre conséquence sur nos ancêtres : une accélération de l'évolution. Comme l'a souligné l'anthropologue John Hawks, de l'Université du Wisconsin-Madison, une population plus nombreuse

L'ALLONGEMENT DE LA VIE A SANS DOUTE AUSSI TOUCHÉ nos ancêtres d'une autre façon : il a accéléré l'évolution.

signifie davantage de mutations et, par tant, plus de chances que les mutations avantageuses diffusent dans la population à la faveur de la reproduction. Si l'on considère l'explosion démographique liée à la domestication des plantes, il y a 10 000 ans, cette tendance a peut-être eu un impact bien plus grand sur les hommes anatomiquement modernes récents. Gregory Cochran et Henry Harpending, de l'Université d'Utah, en parlent dans un livre récent (*The 10 000 Year Explosion*, 2009) ; ils décrivent les variantes génétiques multiples – de celles qui influencent la couleur de la peau à celles qui déterminent la tolérance au lait de vache – qui sont apparues et se sont rapidement répandues au cours des 10 000 dernières années, grâce à l'essor démographique.

Le lien entre l'allongement de l'espérance de vie des adultes et l'émergence de nouvelles traditions culturelles élaborées – celles du Paléolithique supérieur par exemple – a sans doute enclenché un cercle vertueux. Cette longévité, qui, initialement, fut la conséquence imprévue d'un changement culturel, est devenue une condition préalable à la mise en place de comportements modernes. Ces innovations ont accru à leur tour l'importance des aînés et leur longévité, d'où un essor démographique qui a eu des effets culturels et génétiques profonds sur nos ancêtres. ■

L'AUTEUR



Rachel CASPARI est professeur d'anthropologie à l'Université de Central Michigan à Mount Pleasant, aux États-Unis.

✓ SUR LE WEB

Des exemples précoces de comportements humains modernes : www.ScientificAmerican.com/aug2011/caspari

✓ BIBLIOGRAPHIE

R. Caspari et S.-H. Lee, *Older age becomes common late in human evolution*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 101, pp. 10895-10900, 2004.

R. Caspari et S.-H. Lee, *Taxonomy and longevity*, *Journal of Human Evolution*, vol. 49, pp. 646-649, 2005.

R. Caspari et S.-H. Lee, *Is human longevity a consequence of cultural change or modern human biology?*, *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 129, pp. 512-517, 2006.

HISTOIRE DES SCIENCES

L'énigme de la photoluminescence

Si la fluorescence et la phosphorescence, deux formes de photoluminescence, ont fait l'objet d'observations dès le XVI^e siècle, ce n'est qu'au début du XX^e siècle que l'on a compris l'origine de cette curieuse émission « froide » de lumière.

Bernard VALEUR et Mário N. BERBERAN-SANTOS

Quel est le point commun entre un tube fluorescent, une LED (diode électroluminescente) et un ver luisant ? Dans chaque cas, il s'agit de luminescence, c'est-à-dire d'émission de lumière sans chaleur : électroluminescence suivie de photoluminescence dans un tube fluorescent, électroluminescence dans une LED, et bioluminescence chez un ver luisant – le préfixe désignant la cause de l'émission. Il existe bien d'autres types de luminescence. Depuis le XVI^e siècle, la luminescence a fait l'objet de nombreuses observations, mais contrairement à la lumière émise par incandescence, elle n'a été comprise qu'au XX^e siècle, après nombre d'interrogations et de controverses. Pourquoi n'y a-t-il pas de chaleur dégagée ou presque lors de l'émission ? Pourquoi la luminescence diffère-t-elle selon la nature du corps émetteur, au contraire des corps incandescents ?

Le cas de la photoluminescence mérite une attention particulière : ce terme réunit la fluorescence et la phosphorescence, deux phénomènes qui résultent d'une absorption préalable de lumière, mais dont la distinction ne sera précisée que dans les années 1920-1930, après plus de 300 ans d'observations et un siècle de discussions, grâce en particulier aux physiciens français Jean et Francis Perrin.

Selon la légende, en 1603, un cordonnier de Bologne, Vincenzo Cascariolo, ramassait des pierres au cours de ses promenades dans la région du Monte Paterno. Il les calcinaient chez lui avec du charbon, car, alchimiste à ses

heures, il recherchait la pierre philosophale pouvant transformer les métaux communs en or ou en argent. Après calcination, il constata que certaines pierres exposées à la lumière du soleil continuaient de luire dans l'obscurité de son four ou de sa maison. On leur donna le nom de phosphore de Bologne (du grec *phos*, « la lumière », et *phorein*, « porter »). Bien d'autres substances possédant cette propriété étaient connues ou furent découvertes par la suite. On les dénomma phosphores et, plus tard, ce type d'émission de lumière fut appelé phosphorescence.

Ces phosphores n'avaient rien à voir avec l'élément phosphore, isolé par l'alchimiste allemand Hennig Brandt en 1669. L'élément reçut ce nom parce qu'il émet des vapeurs qui luisent dans l'obscurité, mais on s'aperçut plus tard que le phénomène d'émission lumineuse en jeu – la chimiluminescence – est différent de la phosphorescence.

Au XIX^e siècle, les scientifiques sont aussi intrigués par la lumière colorée observée lorsqu'ils illuminent certaines substances. À la différence de celle des corps phosphorescents, cette émission disparaît dès que cesse l'illumination. Parmi ces substances figurent les décoctions d'un bois du Mexique, *Lignum nephriticum*, dont les « reflets » bleutés apparaissant sous certaines conditions d'éclairage étaient signalés dès 1565 par le médecin et botaniste espagnol Nicolas Monardes. En 1833, le physicien écossais David Brewster décrit les solutions alcooliques obtenues par extraction de feuilles : elles sont vertes (on sait aujourd'hui qu'elles contiennent des chlorophylles), mais lorsqu'un rayon du soleil

traverse la solution, Brewster observe, en regardant sur le côté, une superbe couleur rouge. De même, en 1845, l'astronome britannique John Herschel observe en surface d'une solution concentrée de sulfate de quinine, sous certaines incidences de la lumière, une belle couleur bleue, alors que la solution est transparente et incolore.

D'étranges lumières bleues

Ce sont surtout les cristaux de fluorine (à base de fluorure de calcium), dénommés à l'époque spath fluor ou fluorspar, qui retiennent l'attention (voir la figure 1). En 1819, Edward Clarke, professeur de minéralogie à l'Université de Cambridge, en Angleterre, décrit la beauté de cristaux de fluorine du comté de Durham : transparents, ils renvoient une lumière bleu saphir, alors que la couleur de la lumière transmise est vert émeraude. Clarke ne donne aucune explication de ces observations. En 1822, le minéralogiste français René-Just Haüy décrit les couleurs d'une autre fluorine anglaise, issue du comté de Derbyshire : violet par réflexion, vert par transmission. Selon lui, il s'agit d'un type d'opalescence, phénomène connu par ailleurs et résultant de la diffusion de la lumière par des microbilles de silice hydratée ; la couleur violette serait due à la diffusion de la lumière, alors que la lumière verte transmise ne serait pas diffusée. Explication incorrecte, mais le terme opalescence inspirera le mot fluorescence.

En 1852, la publication d'un mémoire intitulé *Sur la réfrangibilité de la lumière* marque

une étape importante dans la compréhension de la photoluminescence. Son auteur, sir George Gabriel Stokes, physicien et professeur de mathématiques à l'Université de Cambridge, y décrit une expérience où il a éclairé une solution de sulfate de quinine et des fluorures par une portion invisible du spectre solaire : après dispersion de la lumière solaire dans un prisme, il a sélectionné la partie du spectre adjacente au violet, c'est-à-dire le proche ultraviolet. Les substances éclairées ont alors lui d'une belle lumière bleue.

Une telle observation de lumière sous l'action de rayons invisibles est une grande première. Elle montre que les longueurs d'onde de la lumière émise sont plus grandes que celles du rayonnement incident – une observation que Stokes pose en principe du phénomène. Même si des cas de violation de cette loi (connue sous le nom de loi de Stokes) sont constatés et alimentent de chaudes discussions (voir l'encadré page 76).

Dans son mémoire, Stokes suggère de nommer fluorescence l'émission de lumière observée, terme qui combine fluorine et opa-

lescence. Ce terme est adopté. Ainsi fluorescence et fluor ont-ils la même étymologie que rien ne justifie scientifiquement : fluor, du mot latin *fluere* (couler), désignait au XVIII^e siècle des « pierres » faciles à fondre ou facilitant la fusion d'autres substances (ces pierres contenaient un élément qui fut découvert par Moissan en 1886 et baptisé... fluor).

L'article de Stokes conduit le physicien français Edmond Becquerel (père d'Henri Becquerel, découvreur de la radioactivité) à déposer un recours en antériorité pour cette découverte : dans un article publié en 1842, il a décrit la lumière émise par du sulfure de calcium exposé à la partie ultraviolette du spectre solaire. Dès 1840, Becquerel a étudié divers composés phosphorescents, c'est-à-dire dont la lumière émise persiste un certain temps après l'arrêt de l'illumination. La vitesse à laquelle l'intensité de la lumière émise décline est variable. Dans certains composés, la phosphorescence persiste plusieurs heures ; dans d'autres, l'intensité lumineuse diminue en des temps très inférieurs à

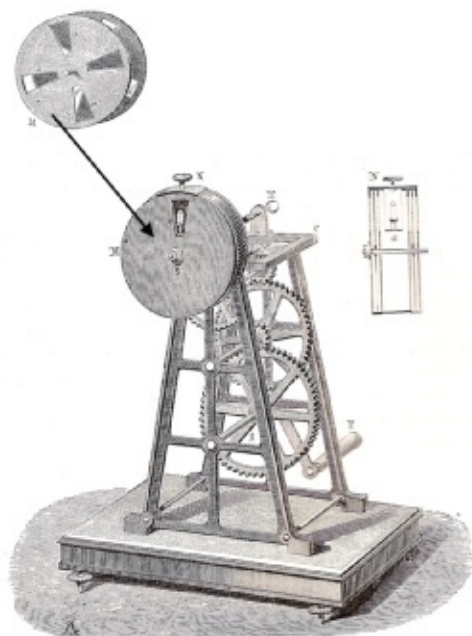
la seconde. Pour étudier de tels déclin, Becquerel invente un appareil, le phosphoroscope (voir la figure 2), qui permet d'analyser des déclin de phosphorescence de 0,1 milliseconde. Il réalise ainsi, en 1858, la première expérience de luminescence résolue en temps.

Autres caractéristiques de la fluorescence et de la phosphorescence : ces deux émissions de lumière ne nécessitent pas de hautes températures et ne produisent pas de chaleur notable. Ces propriétés rendent perplexes les physiciens du XIX^e siècle, qui connaissent bien l'émission de lumière par incandescence des corps portés à haute température : résistance chauffante, braises, lave en fusion, Soleil. Non seulement la lumière émise par un corps incandescent a une intensité et un spectre liés à la température, mais l'émission ne dépend presque pas de la nature

1. SOUS UNE LAMPE À ULTRAVIOLETS, ces cristaux de fluorine ambrée (voir le cartouche) émettent une lumière bleue. On comprit au XX^e siècle que cette lumière est due à la fluorescence de traces d'éléments chimiques de la famille des lanthanides.



© Mark Schneider/Visuals Unlimited/Corbis



2. LE PHOSPHOROSCOPE d'Edmond Becquerel. L'échantillon phosphorescent est placé entre deux disques portant quatre ouvertures décalées, dont la vitesse de rotation atteint 3 000 tours par seconde. En mesurant à l'aide d'un photomètre l'intensité de la lumière émise pour diverses vitesses de rotation, c'est-à-dire pour divers décalages temporels entre l'excitation et l'observation, on reconstruit pas à pas la courbe de déclin de la phosphorescence.

du corps, alors que la fluorescence et la phosphorescence en dépendent fortement. Pour marquer la distinction, les physiciens qualifient de « lumière froide » ces émissions, par opposition à la « lumière chaude » émise par incandescence.

Les tentatives d'interprétation de l'émission de ces lumières froides vont bon train. En particulier, en 1888, le physicien allemand Eilhard Wiedemann invoque l'éther, un milieu « subtil » dont, à l'époque, on admet l'existence comme support à la propagation de la lumière – à l'instar du support matériel requis pour la propagation du son : la lumière excitatrice provoquerait des collisions au sein de la matière. Ces collisions entraîneraient des vibrations qui, transmises aux couches d'éther, produiraient de la lumière dont l'intensité dépendrait de la force des vibrations. On est loin de la véritable explication, nous le verrons. Toujours est-il que Wiedemann rejette le vocable de lumière froide et propose le terme de luminescence pour désigner tout phénomène lumineux qui n'est pas uniquement conditionné par une élévation de température.

Stokes considérait la fluorescence comme un processus instantané, qui s'interrompt

dès que l'illumination cesse. Au contraire, Becquerel estimait que la fluorescence de Stokes et la phosphorescence étaient un seul et même phénomène présentant une durée finie d'émission, le déclin étant simplement plus lent dans le cas de la phosphorescence. On sait aujourd'hui que les constantes de temps du déclin de fluorescence vont de quelques dizaines de picosecondes (10^{-12} seconde) à quelques centaines de nanosecondes (10^{-9} seconde). Toutefois, les phosphorescences les plus rapides se produisent à une échelle de temps comparable à celle des fluorescences les plus lentes...

Fluorescence ou phosphorescence ?

Il faut attendre le XX^e siècle pour y voir plus clair. À partir de 1900, la théorie des quanta bouleverse la physique. Grâce à elle, l'absorption de la lumière par des atomes ou des molécules à certaines longueurs d'onde s'interprète en termes de transitions entre des niveaux d'énergie. Ces transitions sont déclenchées par l'absorption d'un quantum de lumière (un photon) dont l'énergie correspond à la différence d'énergie entre deux niveaux. Le passage d'un niveau d'énergie supérieur à un niveau d'énergie inférieur s'accompagne de l'émission d'un photon : c'est la luminescence.

Dans ce contexte, Jean Perrin et son fils Francis proposent, à partir de 1925, une première distinction théorique entre fluorescence et phosphorescence en concevant un diagramme dans lequel figure un état excité intermédiaire, dit métastable. Selon leur modèle, certaines espèces excitées par absorption d'un photon passeraient par cet état métastable. Elles y séjourneraient avant de revenir (par activation thermique) à l'état excité initial, puis de se désexciter avec une émission de photons que les Perrin considéraient comme étant de la phosphorescence, mais qu'aujourd'hui nous nommons fluorescence retardée. En fait, la phosphorescence résulte de la transition directe de cet état métastable vers l'état fondamental. C'est le physicien polonais Aleksander Jablonski qui, dans les années 1930, prévoit la possibilité d'une telle transition. Ces diverses contri-

Controverse autour de la loi de Stokes

À partir des années 1870, plusieurs violations de la loi de Stokes, selon laquelle la longueur d'onde de la lumière émise par fluorescence est supérieure à celle de la lumière incidente, furent rapportées. Par exemple, en 1904, les Américains Edward Nichols et Ernest Merritt montrèrent que sous certaines conditions, les spectres de fluorescence de deux colorants organiques, la fluorescéine et l'éosine, s'étendent sur des longueurs d'onde plus courtes que la longueur d'onde d'excitation. Fallait-il abandonner la loi de Stokes ? C'est Einstein qui résolut la question, grâce à des considérations... thermodynamiques.

À l'aube du XX^e siècle, Einstein appliqua la toute récen-

te théorie des quanta à l'effet photoélectrique et à la luminescence. Considérant que l'énergie des quanta de lumière (nommés plus tard photons) absorbés et émis doit être proportionnelle à leur fréquence respective, il montra que la loi de Stokes obéit au premier principe de la thermodynamique : l'énergie d'un système fluorescent est conservée si l'énergie des photons émis est inférieure ou égale à celle des photons incidents (c'est-à-dire si leur longueur d'onde est supérieure ou égale à celle des photons absorbés). Alors comment expliquer les exceptions à cette loi ?

La forme en cloche des spectres d'émission évoquait

un processus statistique. Einstein formula alors l'hypothèse suivante : les mouvements moléculaires conféraient peut-être au système l'énergie supplémentaire nécessaire pour violer la loi de Stokes tout en satisfaisant le premier principe de la thermodynamique. Si l'hypothèse était exacte, l'écart par rapport à la loi de Stokes devait être d'autant plus grand que la température était élevée.

Après une discussion avec Einstein, le physicien suisse Joseph Kowalski étudia l'effet de la température sur l'émission d'une rhodamine. Obtenus en 1910, ses résultats confirmèrent l'hypothèse d'Einstein et clorèrent ainsi la controverse.