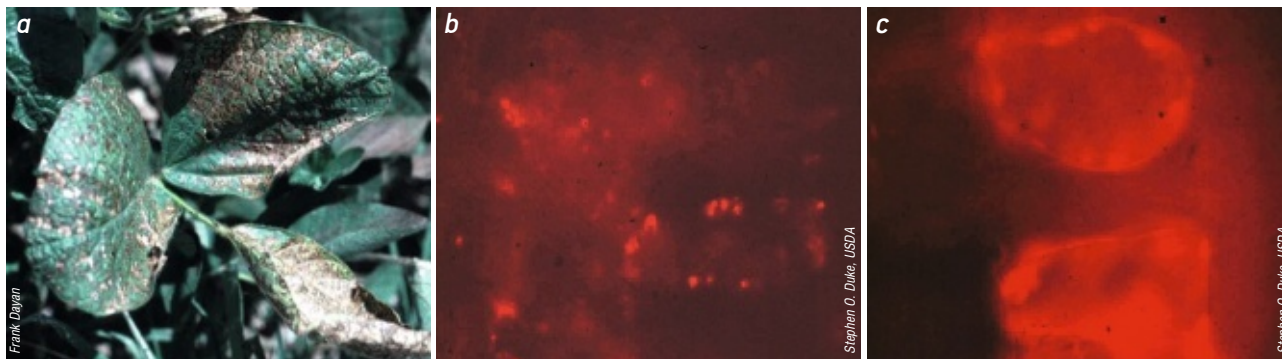




3. LES HERBICIDES qui inhibent l'enzyme PROTOgène oxydase provoquent une photodécoloration des plantes nuisibles (a). Cette décoloration est due à la perturbation de la production de protoporphyrine, le produit de la réaction catalysée par l'enzyme. Normalement, la protoporphyrine s'accumule dans les chloroplastes, des organites des cellules végétales (b, ici dans des cellules de feuilles embryon-

naires – cotylédons – de concombres). Mais trois heures après un traitement avec un tel herbicide, la protoporphyrine s'accumule dans tout le cytoplasme des cellules (c). Habituellement produite dans les chloroplastes à partir de la protoporphyrine, la chlorophylle n'est plus synthétisée, ce qui entraîne la décoloration des chloroplastes et, par conséquent, de la plante.

4. L'ENZYME PROTOgène oxydase est constituée de deux sous-unités (une seule est représentée ici), chacune composée de trois domaines. Un premier domaine (en vert) se lie au substrat de la réaction catalysée par l'enzyme, le protoporphyrinogène ; un deuxième (en bleu) ancre l'enzyme à la membrane de l'organite où a lieu la réaction et un troisième accueille le facteur d'oxydoréduction FAD. Le couple enzyme-FAD produit une protoporphyrine en ôtant des atomes d'hydrogène au protoporphyrinogène.



Michael Koch, 2004, EMBO Journal

phyrine des entités chimiques (groupement chimique, nanoparticule) qui cibleraient les cellules tumorales, faciliteraient l'élimination du composé par l'organisme après la thérapie, voire absorberaient mieux la lumière.

Des cellules photovoltaïques flexibles

Les propriétés photoniques des porphyrines sont aussi utilisées dans le développement de cellules photovoltaïques flexibles à base de colorant fonctionnant selon un principe proche de celui de la photosynthèse. Conçues il y a 20 ans par Michel Graetzel, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, les premières cellules à colorant avaient un rendement trop faible pour être commercialisées. Mais récemment, M. Graetzel a remplacé le colorant utilisé (du ruthénium) par un colorant à base de métalloporphyrine au zinc, et a ainsi augmenté considérablement le rendement de ses cellules. Leur commercialisation a déjà commencé : semi-transparentes, elles sont notamment utilisées dans la fabrication de façades vitrées.

Chez tous les organismes vivants, des molécules (acides aminés, acides nucléiques, acides gras, glucides) servent d'unités de construction de structures plus importantes. L'anneau de porphyrine peut jouer un rôle similaire, par sa capacité à s'assembler en de multiples molécules. Il est probable que nous ne soyons qu'aux balbutiements de l'exploitation de leurs propriétés physiques. On envisage même de les utiliser comme transporteurs d'électrons dans la fabrication de puces électroniques pour les ordinateurs. ■

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.

■ BIBLIOGRAPHIE

H. Puy *et al.*, *Porphyrias*, *Lancet*, vol. 375, pp. 924-937, 2010.

F. E. Dayan *et al.*, *Biochemical and structural consequences of a glycine deletion in the α -8 helix of protoporphyrinogen oxidase*, *Biochimica et Biophysica Acta*, vol. 1804, pp. 1548-1556, 2010.

M. Koch *et al.*, *Crystal structure of protoporphyrinogen IX oxidase : a key enzyme in haem and chlorophyll biosynthesis*, *EMBO Journal*, vol. 23, pp. 1720-1728, 2004.

M. Matringe *et al.*, *Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides*, *Biochemical Journal*, vol. 260, pp. 231-235, 1989.

Il a même été proposé d'utiliser ces molécules dans le traitement de tumeurs par photothérapie. En pratique, les biochimistes privilégient plutôt l'utilisation des porphyrines elles-mêmes. La photothérapie dynamique, qui tue les cellules cibles en activant, par illumination, un agent chimique photosensible, est une stratégie alternative émergente dans le traitement de certains cancers (œsophage, poumon, peau, vessie, prostate...) ou de pathologies non malignes accessibles à la lumière.

De par leurs propriétés photosensibles et leur production naturelle chez l'homme, les porphyrines sont des candidats séduisants. À l'Institut Curie (Paris), notamment, Philippe Maillard et ses collègues du groupe Chimie des porphyrines et photothérapie (UMR 176 CNRS) conçoivent et synthétisent de nouveaux dérivés de porphyrines en vue d'une utilisation en photothérapie. Les dérivés connus présentent en effet plusieurs inconvénients : faible sélectivité tumorale, absorption limitée de la lumière, effets secondaires. L'idée est de fixer à l'anneau de por-

Rendez-vous sur

■ POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

- Retrouvez gratuitement les actualités scientifiques quotidiennes.
- Nouveau ! Écoutez nos entretiens audio ou téléchargez-les.
- Recevez nos lettres d'information et réagissez aux articles en vous inscrivant sur www.pourlascience.fr/newsletters
- Consultez les archives de tous nos magazines depuis 2004.
- Accédez aux numéros numériques compris dans votre abonnement en créant votre compte.
- Suivez notre actualité en direct :



<http://www.pourlascience.fr/rss>



<http://twitter.com/pourlascience>



<http://www.pourlascience.fr/pls-facebook>

+ de 9000 fans



À très bientôt sur www.pourlascience.fr !

HISTOIRE DES SCIENCES

Herschel et l'énigme de l'infrarouge

L'astronome William Herschel a découvert et étudié le rayonnement infrarouge. Il eut l'intuition qu'il était de même nature que la lumière visible. L'ensemble sera désigné plus tard par le terme d'ondes électromagnétiques.

Jack White

La plupart des encyclopédies et livres de physique attribuent à l'astronome britannique sir William Herschel la découverte du rayonnement infrarouge en 1800. Toutefois, cela n'est pas strictement exact et ne rend pas tout à fait justice aux travaux de Herschel.

Nous découvrons tous très jeunes l'infrarouge, quand nous sentons la chaleur à distance d'un objet chaud ; et nous savons que ce rayonnement est invisible, car la chaleur se ressent aussi dans l'obscurité la plus totale. Herschel a mis en évidence l'existence de ce rayonnement et a aussi trouvé les premières preuves que la lumière et l'infrarouge sont deux aspects d'un même phénomène, nommé aujourd'hui rayonnement électromagnétique. Lors d'une série d'expériences simples, Herschel a trouvé la première pièce d'une des grandes énigmes de la physique, dont la résolution a nécessité encore un siècle.

Pour comprendre la démarche de Herschel, ses articles originaux sont une source riche d'informations. Ils semblent directement restituer les réflexions et les expériences de leur auteur. La plus grande difficulté en lisant ces écrits est de suivre le fil du raisonnement de Herschel, entrecoupé de nombreuses digressions et de pages de relevés de température.

Dans un article lu à la *Royal Society* de Londres le 27 mars 1800, Herschel utilisa le terme de « chaleur radiante » pour désigner cette chaleur ressentie à distance. Le terme « infrarouge » [infra signifie « en dessous » en latin] n'est apparu que dans les années 1880, d'un auteur inconnu.

Herschel n'était pas initialement un scientifique. D'origine allemande, il a commencé sa carrière comme musicien dans une formation militaire. En 1773, à l'âge de 34 ans, six ans après son arrivée à Bath, au Royaume-Uni, où il occupait un poste de professeur de musique, il acheta un petit télescope et un livre d'astronomie. C'était le début d'une nouvelle carrière.

Célébrité d'astronome

Dès l'année suivante, il polissait ses propres miroirs pour construire des télescopes plus grands et de meilleure qualité, et il passait ses nuits à étudier le ciel étoilé. La dextérité de Herschel lui valut rapidement la réputation de meilleur fabricant de télescopes de son époque. Sa célébrité atteignit son point culminant en 1781, quand il découvrit la planète Uranus. Il fut alors nommé astronome royal, fonction dotée d'un modeste salaire annuel de 200 livres.

Dès lors, Herschel put consacrer tout son temps à l'astronomie. Avec sa sœur Caroline — également une astronome reconnue —, il s'installa à Slough, près du château de Windsor, car l'une des conditions posées à sa nomination était qu'il devait être à la disposition du roi George III et de sa famille à tout moment où il leur aurait pris l'envie d'observer les étoiles.

C'est parce qu'il cherchait à mettre au point le meilleur filtre possible pour observer le Soleil en toute sécurité que Herschel a commencé à explorer le domaine des infrarouges. Ses spéculations et conclusions ont été souvent contradictoires, certaines

fausses, mais d'autres très pertinentes. L'histoire des expériences de Herschel est celle du rôle de l'intuition dans la découverte scientifique, et du conflit entre les convictions classiques et les concepts nouveaux.

Le spectre électromagnétique s'étend des rayons gamma (dont les longueurs d'onde peuvent être plus courtes que le diamètre d'un atome) aux ondes radio (avec des longueurs d'onde allant jusqu'à des milliers de kilomètres). Dans l'ensemble du spectre électromagnétique, l'homme ne détecte que deux plages étroites de longueurs d'onde. Nos yeux voient la lumière, qui occupe l'étroite bande de longueurs d'onde comprise entre 0,4 et 0,7 micromètre (du violet jusqu'au rouge), bande centrée approximativement sur la longueur d'onde du rayonnement le plus puissant émis par le Soleil. L'autre partie du spectre que nous percevons est le rayonnement infrarouge, de longueur d'onde comprise entre celles de la lumière visible et celles des micro-ondes, jusqu'à environ 1 000 micromètres, et qui se manifeste par la chaleur que nous ressentons sur la peau.

Dès le XVIII^e siècle, certains savants, tels le Hollandais Herman Boerhaave ou le Suisse Jean-Henri Lambert, discutent du lien entre lumière et chaleur. Il faut attendre le développement de la thermodynamique statistique, au XIX^e siècle, pour décrire la chaleur comme une agitation désordonnée des molécules. Cette agitation, dont la température est une mesure, est responsable de l'émission d'un rayonnement par la matière, qui est majoritairement infrarouge aux températures habituelles (voir la figure 1). Inversement,