

# Ceph**OLUS**

DE LA SCIENCE DANS TA TÊTE!

# ILLUMINÉ!

« La lumière pense voyager plus vite que quoi que ce soit d'autre. Mais c'est faux. Peu importe à quelle vitesse voyage la lumière, l'obscurité arrive toujours la première et elle l'attend. »

- Terry Pratchett (1948-2015)

**L**E CHAT DE SHRÖDINGER entre dans un bar. Et n'y entre pas. Voilà un bel exemple de ni-ni, expression visiblement dans l'air du temps. Voici un autre exemple, objet d'étude et d'étonnement pris en flagrant délit de ni-ni : elle n'est ni onde, ni particule. Mais les deux à la fois.

LE PÈRE FOURAS a parlé.

## Année internationale de la lumière et des techniques utilisant la lumière

UN BEAU JOUR, nous eûmes une idée lumineuse : et si nous profitions de ce deuxième numéro de Cephalus pour contribuer à la mise en lumière du thème proposé par l'UNESCO cette année ? Nous avons donc accordé nos violons avec le reste du monde pour célébrer de concert « l'année internationale de la lumière et des techniques utilisant la lumière » (abrégée en « année internationale de la lumière », ou AIL 2015 pour les plus flemmards).

SOURCE D'ÉNERGIE issue des lointains foyers stellaires et à l'origine de la vie sur Terre, détentrice du record de célérité (n'en déplaise à Usain Bolt), la lumière joue sur bien des tableaux : quand notre galaxie n'était qu'un mouton de poussière indiscipliné, quand la planète n'était encore qu'un bouillon pestilentiel, quand les premières cellules pataugeaient joyeusement dans leur petite mare chaude, quand les dinosaures grignotaient des mammifères puis quand ces en-cas sur pattes ont enfin pris leur revanche, quand les hominidés se sont cramé les poils de sourcils en manipulant les premières torches, quand la mère de Platon l'envoyait dans sa caverne lorsqu'il rechignait à manger ses brocolis, quand les Doors et Johnny Hallyday cherchaient désespérément de quoi allumer leur feu, elle était là. Tout ce temps, tapie dans l'ombre, la lumière attendait son heure de gloire. Enfin, en 2015, la voilà célébrée. La protagoniste aura tout de même dû patienter quelque 4,6 milliards d'années avant d'entrer en scène. Mais qu'importe, la voilà qui reçoit enfin toute l'attention qu'elle mérite. Celle qui baigne notre planète et lui fournit le carburant nécessaire au bon déroulement de la vie, celle qui pourrait être l'avenir énergétique des civilisations humaines, celle qui nous permet de retracer l'histoire de l'univers voire d'en anticiper l'avenir recèle encore de nombreux mystères. Mais cessons là cet édito interminable, et...

QUE LA LUMIÈRE SOIT.

## CONTRIBUTEURS

### Équipe Cephalus :

Valentine Delattre (V.D.), Damien Desbordes (D.D.), Sophie Félix (S.F.), Nicolas Macé (N.M.), Hélène Malcuit (H.M.), Karim Madjer (K.M.), Juliane Casquet (J.C.), Marina de San Feliciano (M.S.F.), Guilhem Boyer (G.B.).

Remerciements à Kézako/Unisciel, à l'Institut Pythéas et aux membres du Café des Sciences.

Ce magazine a été réalisé grâce au collectif Conscience, incubateur de projets de diffusion scientifique.

Contactez la rédaction : [cephalusmag@gmail.com](mailto:cephalusmag@gmail.com)

Valentine Delattre

Cephalus, qui es-tu ?	p. 6
Le nouveau jour du solaire	p. 8
<b>INTERVIEW.</b> Métiers de science : Georges Comte, astronome	p. 10
<b>VIDÉO.</b> L'Allégorie de la Caverne de Platon	p. 12
L'optogénétique : contrôler le cerveau avec de la lumière	p. 13
Faites des Lumières !	p. 16
<b>Q/R.</b> Comment/Pourquoi ?	p. 17
L'astronomie, discipline où la lumière est reine	p. 18
<b>QUIZ.</b> Phosphorescence ou fluorescence ?	p. 20
Couleurs et lumière	p. 21
<b>INFOGRAPHIE.</b> Evolution des ampoules à incandescence	p. 24
<b>INFOGRAPHIE.</b> Pratique : les petits noms des ampoules	p. 25
<b>DOSSIER.</b> Lumière, opium des plantes ?	p. 26
Nanoscopie : une surprise de taille aux Nobel 2014	p. 36
Pourquoi le verre est-il transparent ?	p. 38
<b>VIDÉO.</b> Qu'est-ce que la lumière ? - Les rayons Gamma	p. 41
La lumière, source de la physique	p. 42

# Cephalus, qui es-tu ?

DANS SES *MÉTAMORPHOSES*, OVIDE RACONTE LES TRIBULATIONS TRAGICO-COMIQUES DE CEPHALUS, JEUNE GAILLARD ISSU DE LA MYTHOLOGIE GRECQUE.

**C**ONNU ÉGALEMENT SOUS le nom de Céphale, Cephalus est le petit-fils d'Eole (maître et régisseur des vents). Il file le parfait amour avec sa jeune donzelle au charme renversant, qui répond au doux nom de Procris. Mouais, peut-être pas si doux que ça tout compte fait... Un matin, Cephalus se fait brusquement enlever par l'Aurore, qui s'avère être un sacré canon dans son genre. Oui oui, vous avez bien lu : le bref moment où le haut du globe solaire pointe à l'horizon s'est personnifié d'un coup, comme ça, sans crier gare.<sup>3</sup> Mais revenons-en à notre charmante histoire : n'écoutez que ses principes et son amour inconditionnel pour Procris, Cephalus résiste aux avances de l'Aurore qui, déçue mais bonne joueuse, le renvoie fissa sur Terre. Mais pas trop près de son logis quand-même, parce qu'il ne faut pas déconner. En route pour retrouver son âme sœur, Cephalus cogite et se met subitement à douter de la fidélité de sa compagne. Vous trouvez ça tordu ? Vous n'avez encore rien lu. Lors d'une épiphanie aussi

soudaine qu'inattendue, il se dit : « Hé, les mecs, je vais lui jouer un sacré tour. » C'est alors qu'il se déguise afin de ne pas se faire reconnaître et va conter fleurette à sa femme, pour voir. Chagrinée par l'absence de son cher et tendre, elle envoie paître le « prétendant » (qui, si vous avez bien suivi, n'est autre que Cephalus lui-même). Mais, d'une nature obstinée et grâce à une surenchère de promesses pour conquérir son cœur, Cephalus voit sa dame qui commence à fléchir. D'un geste victorieux, il retire alors son déguisement grotesque et pointe sur

▼ « Chérie, tu peux me dire ce qu'est cette chose derrière moi ?  
– Je ne suis pas bien sûre mais je crois que c'est censé être un chien, mon tendre. »



Paolo Veronese, *Cephalus and Procris*, huile sur toile, vers 1580. (Wikimedia Commons)

## Ca parle de quoi ce truc ?

Un cocu, presque cocu mais pas tout à fait, qui en plus est nul à la chasse. Lis tu comprendras mieux !



elle son gros index accusateur tout en faisant résonner le cri de Nelson (des Simpsons) sous la voûte de leur palais luxueux. Elle, morte de honte et un tantinet vexée par cette mascarade, quitte le palais et part boudier dans les bois. Puis Cephalus finit par ravalier sa fierté et présenter ses excuses à sa pauvre femme. Telle la mère

Noël, elle revient alors à ses côtés avec des cadeaux qui feraient baver d'envie petits et grands. Parmi eux, un javelot magique à la pointe d'or qui atteint toujours sa cible et revient auprès de son propriétaire tel un boomerang bien dressé.

**CETTE MAUVAISE BLAGUE** enterrée, les deux amants continuent de vivre leur passion dévorante et réciproque. Jusqu'au jour où...

**CEPHALUS, PARTI CHASSER** seul dans les bois, chante à pleins poumons une ode un poil ambiguë : « Viens, sois-moi favorable, Aure, à la fraîche haleine ; glisse-toi dans mon sein ; apaise les feux dont je brûle ; plusieurs fois je t'ai dû cette faveur. » Outre le meilleur compliment qu'on puisse faire à une femme (l'histoire de l'haleine fraîche), remarquez qu'il ne s'est pas trop foulé, ça ne rime même pas. Et lui d'enchaîner de plus belle : « Aure, tu fais mes plus chers délices, tu me ranimes, tu me soutiens. Tu me fais aimer les bois et les lieux solitaires. Que par ma bouche soit toujours respirée ta douce et bienfaisante haleine ! » [1] Aure étant ici, vous l'aurez compris (ou pas), le vent. Un zigoto passant par là entend ces paroles et court les rapporter à Procris. Elle, abasourdie mais pas complètement dupe, décide d'aller vérifier de ses propres yeux si elle est effectivement cocue. Le lendemain donc, elle se cache



▲ « Patron, c'est votre mère au téléphone !  
– Parfait, je vais lui dire que j'apporte la dinde ! »

Fulchran-Jean Harriet, *Cephalus and Procris*, huile sur toile, vers 1800. (Wikimedia Commons)

derrière un buisson dans la forêt où Cephalus a l'habitude d'aller chasser. On devine déjà la fin... Lorsque le bonhomme se met à entonner cette ritournelle sans arrière-pensée aucune, Procris toujours cachée se met à gémir de désespoir. Et là, c'est le drame : croyant à un bon gros animal bien dodu et l'imaginant déjà tournant sur une broche, Cephalus lance son javelot magique... qui atterrit en plein dans le sein de Procris. (Bon appétit). Etonnement, désarroi, interrogation, justification. Voilà comment Procris expire après avoir été plantée par son mari aimant avec le cadeau qu'elle lui avait offert. Ironie, quand tu nous tiens... ●

V.D.

**SOURCE :**  
[1] Ovide, *Les Métamorphoses*, 8 ap. J.-C.



▲ Alexander Macco, *Cephalus und Procris*, huile sur toile, vers 1793. (Wikimedia Commons)

# Le nouveau jour du solaire

L'énergie solaire, c'est vert mais c'est cher

**L**A FAUTE À QUI ? Au silicium, le matériau semi-conducteur qui constitue l'essentiel des cellules photoélectriques utilisées de nos jours. En vérité, l'ami silicium cumule les défauts : il est dur à extraire, compliqué à travailler, somme toute assez rare, limité dans ses formes utilisables, et ce sans compter qu'il a un nom beaucoup trop simple à prononcer. En cela, la pérovskite le bat à plate couture.

Ce mot barbare, qui regroupe en fait toute une famille de minéraux semi-conducteurs, est synonyme d'espoir et de défi dans le petit univers du photovoltaïque.

Rappelons-en le principe...

L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE est une analogie de la photosynthèse

des plantes.

Pour faire bref, les photons reçus par le rayonnement solaire (ou toute autre source de lumière) entraînent un flux d'électrons qui se traduit par l'établissement d'un courant continu. Un panneau solaire est composé d'unités qu'on appelle des cellules photovoltaïques. Les plus efficaces de celles utilisées aujourd'hui sont à base de silicium monocristallin. Elles peuvent atteindre un rendement de 25 %. Cela signifie qu'un mètre carré de panneaux solaires génèrent théoriquement 0,25 kW, puisque l'énergie solaire qui atteint la surface de la Terre est d'environ 1 kW/m<sup>2</sup>. Avec cette quantité d'énergie-là, on peut éclairer une maison pendant quelques heures ou rouler 500 m en Smart électrique bleu métallisé. Bien sûr, les ondes lumineuses qui atteignent la surface de la Terre ne sont pas toutes identiques et on ne retrouve pas toujours cette constante de 1 kW/m<sup>2</sup>. La quantité de photons reçus varie en fonction de l'ensoleillement et, bien entendu, de la durée du jour.

Mais le meilleur pour parler de ça, c'est encore Jamy :

**UN MATÉRIAU MODERNE OUVRE DES HORIZONS INSOUÇONNÉS DANS LE DOMAINE DU PHOTOVOLTAÏQUE. LES ATOUTS DE LA PÉROVSKITE ET LES DÉFIS QUI LUI RESTENT À RELEVER.**

LA CAPACITÉ DU PHOTOVOLTAÏQUE à approvisionner une population croissante est sans cesse remise en question. D'autant plus que le réchauffement climatique, malgré ce que l'on raconte,



n'a aucun effet positif sur la rentabilité d'une cellule photovoltaïque (ce n'est pas la chaleur qui est transformée en courant électrique mais bien la lumière). Il devient donc urgent de faire baisser les coûts. C'est ici que la pérovskite a son atout à jouer.

## Pérovskite, entre faux espoirs et illusions factices

PUISQU'ELLE COÛTE entre deux et cinq fois moins cher à confectionner qu'une cellule à base de silicium, celle qui utilise la pérovskite pèse très lourd dans la balance économique. Très, très lourd même : les prestigieuses revues *Nature* et *Science* s'arrachent les articles qui traitent du sujet (amusez-vous à leur envoyer un, vous verrez). En outre, les avantages abondent pour la pérovskite : dite organique (ou amorphe), elle rendrait possible « l'impression » de cellules photovoltaïques sur les vitres teintées des immeubles, sur les lunettes de soleil, les abribus vandalisés, les serviettes de plage, etc.

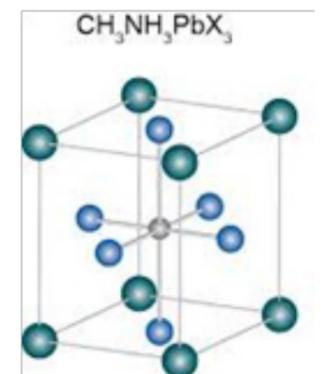
LA RECHERCHE S'EST DONNÉ pour but de trouver le type de pérovskite qui aurait le meilleur rendement énergétique – mais le véritable défi reste à relever. Les meilleurs de ces cellules atteignent 19 % de rendement en laboratoire (donc en conditions optimales), et certaines équipes de chercheurs suisses, berlinois ou japonais prétendraient atteindre prochainement les 22 %. On est encore derrière le silicium (25 %), sans compter que la plupart des pérovskites étudiées ne dépassent pas les 10 % de rendement. Il faudrait également rendre stables les cristaux de pérovskite, qui ont une fâcheuse tendance à se dissoudre à tout bout de champ.

LES MEILLEURS CANDIDATS seraient des halogénures de plomb très néfastes pour l'environnement. Une pilule difficile à faire passer quand on sait que le meilleur argument de l'énergie solaire reste son caractère « renouvelable ». Et pourtant... Et pourtant on n'abandonne pas ce très vieux rêve de l'être humain, celui de récolter notre énergie dans les rayons d'une étoile. ●



▲ Une boulette de pérovskite originale CaTiO<sub>3</sub> (comme les aimait M. Perovski). Les amateurs ne manqueront pas de reconnaître un système cristallin orthorhombique à biréfringence optique biaxiale, cela va de soi. (Wikimedia Commons)

▼ À gauche : nos lointains ancêtres utilisaient déjà des cellules en pérovskite pour alimenter leurs calculatrices. À droite : à quoi ressemble un cristal de pérovskite « nouvelle génération », à base d'halogénures de plomb. Pas si écolo, donc... (Wikimedia Commons)



- Ion méthylammonium
- Ion halogène
- Ion plomb

D.D.

**SOURCES :**

- Le Temps
- Techno-science.net
- Connaissance Des Énergies
- Wikipédia



Métiers de science :

## GEORGES COMTE

ASTRONOME AU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE MARSEILLE

Présentez-vous ainsi que votre environnement professionnel...

GEORGES COMTE  
EST ASTRONOME  
ÉMÉRITE AU LABORATOIRE  
D'ASTROPHYSIQUE DE  
MARSEILLE (LAM), DANS  
L'ÉQUIPE PHYSIQUE DES  
GALAXIES.

Qu'aimez-vous dans la science ?

**LA SATISFACTION** d'aboutir à une compréhension des phénomènes, et l'insatisfaction permanente de savoir que cette compréhension n'est en général que partielle, et qu'il reste toujours des progrès à faire : l'histoire ne se termine jamais. Quant à l'activité elle-même de recherche scientifique, c'est le summum de la pratique de la liberté.

Que faites-vous au quotidien ?

**DES CHOSES** en général extrêmement prosaïques : écrire des bouts de programmes d'ordinateur, les tester, les améliorer, les utiliser sur des données, en être en général insatisfait, recommencer en essayant de comprendre pourquoi ça ne marche pas aussi bien que ça devrait, etc... La Science avec un grand S, c'est 5 pour cent de l'activité, le reste, c'est « de l'intendance ». En ce moment, depuis deux ans, je travaille avec des collègues chinois sur le traitement de données spectroscopiques issues d'un grand projet très innovant, LAMOST. Les problèmes purement techniques sont considérables, et ça mange beaucoup de temps d'essayer d'en venir à bout. Mais on avance petit à petit.

Quels sont vos projets professionnels pour 2014-2015 ?

**JE SUIS** en fin de carrière, donc je n'ai plus de projets à long terme comme je

**J**E SUIS **GEORGES** Comte, astronome (émérite depuis quelques jours) au LAM, dans l'équipe

Physique des Galaxies. Comme son nom l'indique, cette équipe s'intéresse aux propriétés physiques des galaxies, à leur contenu et à leur évolution, à partir de données d'observation (en imagerie et en **spectroscopie\*** optique surtout, mais nous utilisons aussi bien d'autres données produites par d'autres équipes dans le monde, en radio, en infrarouge lointain, en ultraviolet...). Un volet important de nos activités concerne le traitement de ces données pour en faire des ingrédients interprétables dans des modèles physiques, l'informatique est donc un outil omniprésent dans notre activité quotidienne. Cette équipe a aussi une activité de conception et réalisation d'instruments (spectromètres notamment) pour les télescopes.

Quel cursus universitaire (autre) avez-vous suivi ?

**OH, C'ÉTAIT** il y a bien longtemps, presque dans une autre vie : la fac des sciences à Rennes d'abord, en physique jusqu'à la maîtrise, puis le 3e cycle à Marseille.

Pourquoi avez-vous choisi de devenir chercheur ?

**LA CURIOSITÉ** pour les sciences « naturelles » : vouloir comprendre, percer les mystères de la nature. J'étais attiré par la biologie, la météorologie, l'océanographie et l'astronomie : je ne le saisis pas complètement à l'époque, mais c'était un goût pour ce qu'on appelle aujourd'hui l'interdisciplinarité. L'astrophysique, au carrefour de toutes les branches de la physique, est un terrain de jeu idéal ; dans les prochaines décennies, lorsqu'on découvrira la vie extraterrestre, (remarquez bien que j'emploie le futur et pas le conditionnel) ce sera le Graal.



pouvais en avoir il y a encore 5 ou 6 ans. Je m'attache à terminer plusieurs travaux entrepris avec les collègues de Pékin, sur certains types d'étoiles peu communs découverts en traitant une base de données de centaines de milliers de spectres, et développer des moyens de traitement automatique des spectres de LAMOST pour accéder rapidement à des paramètres astrophysiques utilisables pour des **galaxies à raies d'émission\***.

**JE CONTINUE** aussi à m'investir dans la diffusion de la culture scientifique, faire des conférences, intervenir dans des stages d'été pour amateurs, etc...

Sur un volet plus personnel, pourriez-vous parler d'un livre, d'un film, d'une visite que vous avez particulièrement apprécié. Une source d'inspiration...

**UN LIVRE** : « Au-dessous du volcan » de Malcolm Lowry, l'un des plus extraordinaires romans jamais écrits, mais mes années de jeunesse ont été beaucoup marquées par « Les Thibault » de R. Martin du Gard que j'ai dû lire et relire au moins six fois, et dont je relis des passages de temps en temps.

**UN FILM** : choix difficile ! Au 20e siècle, « Les Temps Modernes » de Chaplin, « L'Heure du Loup » de Bergman, mais il y en a tant d'autres...

**UNE VISITE** : le Palais d'Été à Pékin, où je retourne deux fois par an depuis 2011, mais aussi le cimetière marin de Venise, un endroit fabuleux, en novembre, quand il n'y a personne. ●

INSTITUT PYTHÉAS

### LEXIQUE

- **Spectroscopie** : étude expérimentale du spectre d'un phénomène physique.
- **Galaxie à raie d'émission** : galaxies présentant certains éléments chimiques en grande quantité qui émettent des rayonnements dans certaines longueurs d'onde très précises.

# Faites des Lumières !

1643.

**L**A VILLE DE LYON frissonne : la peste arrive du sud de la France. La dernière fois qu'elle a franchi les remparts, ce n'était pas joli joli : d'après les archives, « sur trois personnes à peine en demeurait-il une ». Le 8 septembre, les échevins et le prévôt des marchands<sup>3</sup> grimpent sur la colline de Fourvière pour atteindre l'église plantée en son sommet. Ils y implorent la Vierge Marie de protéger la capitale des Gaules de ce terrible fléau meurtrier, et promettent de lui rendre hommage chaque année si Lyon est épargnée.

**DEPUIS, TOUS LES 8 SEPTEMBRE** sont célébrés par un cortège parcourant le trajet qui sépare la Cathédrale Saint-Jean et la basilique Notre-Dame de Fourvière, remplaçante de l'ancienne église. Ce jour-là de l'année 1852 devait être inaugurée une statue dorée de la Vierge Marie, érigée sur la chapelle de Fourvière ; mais la Saône, qui n'avait rien

a donc été reportée au 8 décembre, pour l'Immaculée Conception. Hélas, de mauvaises conditions météorologiques ont menacé encore une fois l'inauguration d'être reportée... Jusqu'à ce que le ciel vienne à s'éclaircir ; certaines sources, probablement inspirées par un ancêtre de Yosemite Bear, font même état d'un arc-en-ciel. C'est alors que d'un geste spontané, l'ensemble de la population lyonnaise a disposé des bougies à ses fenêtres.

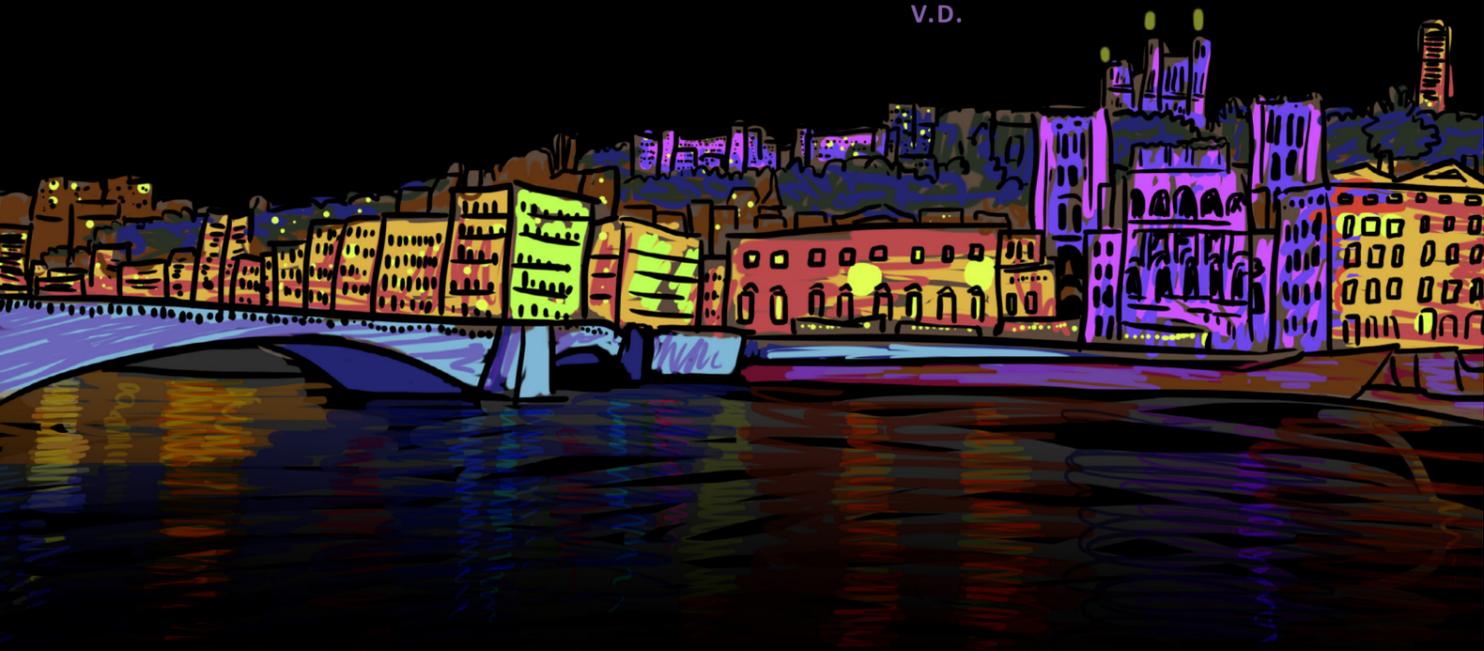
**AINSI NAQUIT** la Fête des Lumières ! Chaque année, soucieux de perpétuer la tradition, les Lyonnais ornent leurs fenêtres de lumignons et parcourent les rues de la cité pour admirer les prouesses artistiques qui l'animent. Par un savant jeu d'éclairages, de projections et d'effets pyrotechniques, ce sont quelque 200 monuments qui prennent vie en revêtant des habits de lumière ; des dizaines de spectacles de rue sont organisés. Au sommet de Fourvière, reine de la fête, les mots « Merci Marie » embrasent l'esplanade de la basilique. Pendant 4 jours, les rues lyonnaises voient ainsi défiler plusieurs millions de personnes ! ●

**TRADITION SÉCULAIRE ANCRÉE DANS LA VIE DES LYONNAIS, LA FÊTE DES LUMIÈRES TROUVE SON ORIGINE DANS LA RELIGION CATHOLIQUE, AVEC LA PESTE EN TOILE DE FOND.**

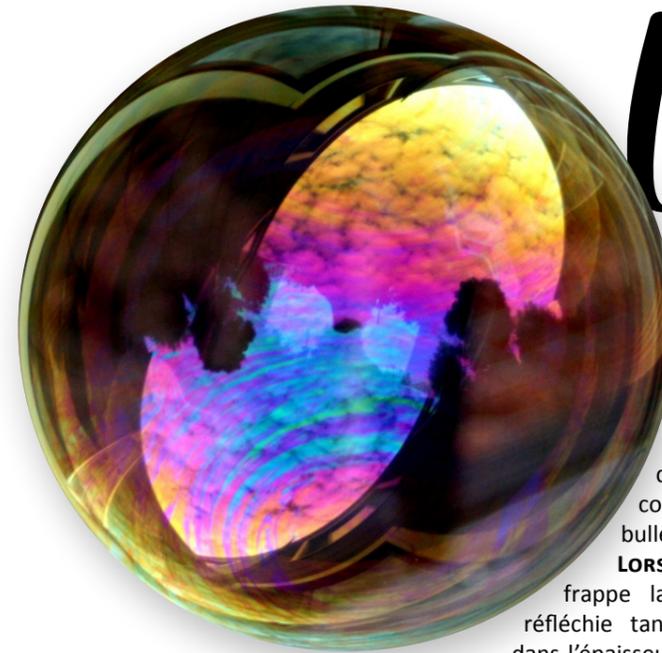
**SOURCES :**

- Wikipédia
- Gralons
- Site officiel de la Fête des Lumières
- Lyon catholique

V.D.



## Pourquoi voit-on des couleurs dans les bulles de savon ?



**U**NE BULLE DE SAVON est essentiellement un peu d'air entouré d'une pellicule de savon. Mais cette pellicule a en fait une épaisseur : il s'agit de deux plaques de savon entourant un tout petit peu d'eau. Et c'est grâce à cette épaisseur que l'on peut voir des couleurs à la surface des bulles.

**LORSQU'UN RAYON DE LUMIÈRE** frappe la bulle, une partie est réfléchié tandis que l'autre pénètre dans l'épaisseur. Ce deuxième rayon est alors réfléchi par la deuxième surface de savon : il ressort de la bulle parallèle au

premier rayon réfléchi mais a parcouru plus de chemin. On dit que les deux rayons sont déphasés.

**OR LA LUMIÈRE REÇUE DU SOLEIL** est une lumière blanche. Elle est en fait composée de toutes les autres couleurs. On le voit bien dans un arc-en-ciel qui décompose la lumière du bleu au rouge en passant par le vert.

**CE QUE NOUS VOYONS**, c'est la somme du rayon réfléchi et du rayon transmis puis réfléchi. Comme les deux rayons sont décalés, cette somme a pour conséquence d'annuler certaines des couleurs composant la lumière blanche et d'en amplifier d'autres. Notre œil voit donc surtout les couleurs amplifiées.

**LES COULEURS ANNULÉES** ou amplifiées dépendent de l'épaisseur de la pellicule d'eau. Cette épaisseur varie avec le temps, ce qui permet de voir tout plein de couleurs se succéder à la surface d'une même bulle. Toujours un beau spectacle ! ●

S.F.

## Pourquoi les carottes sont-elles orange ?

**P**ARCE QU'ELLES contiennent du carotène. Cette molécule absorbe la lumière bleue. La lumière renvoyée par les carottes contient donc toutes les couleurs sauf le bleu : elle est orange !

**LE RÉTINAL** ressemble à un carotène coupé en 2 au milieu, et comme lui, il absorbe la lumière. Le rétinale est la molécule à la base de la vision. Il agit comme une sorte d'antenne, captant les photons qui arrivent au fond de notre rétine. Sans lui, nous ne pourrions pas voir.

**NOTRE CORPS** le fabrique à partir de vitamine A, dont la carotène est l'un des représentants. C'est pour cela que les carottes - entre autres - sont bonnes pour la vue !

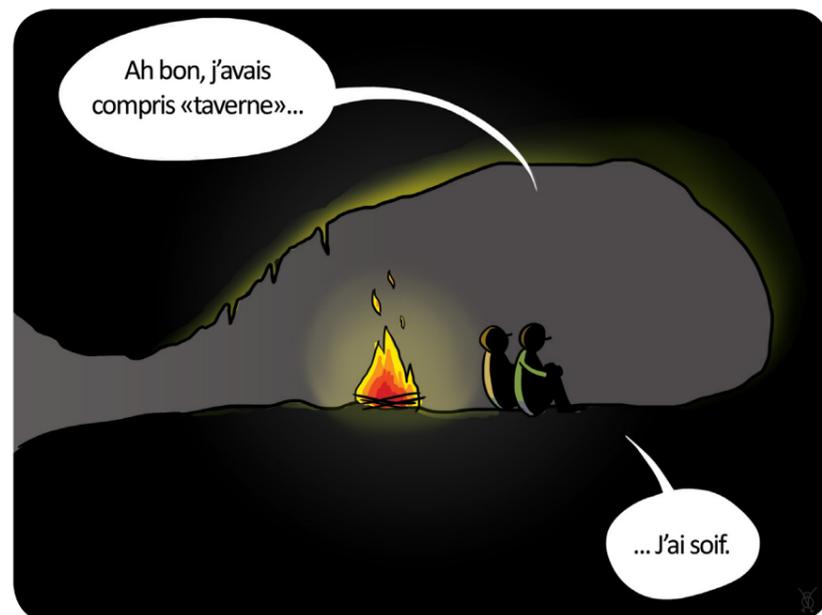
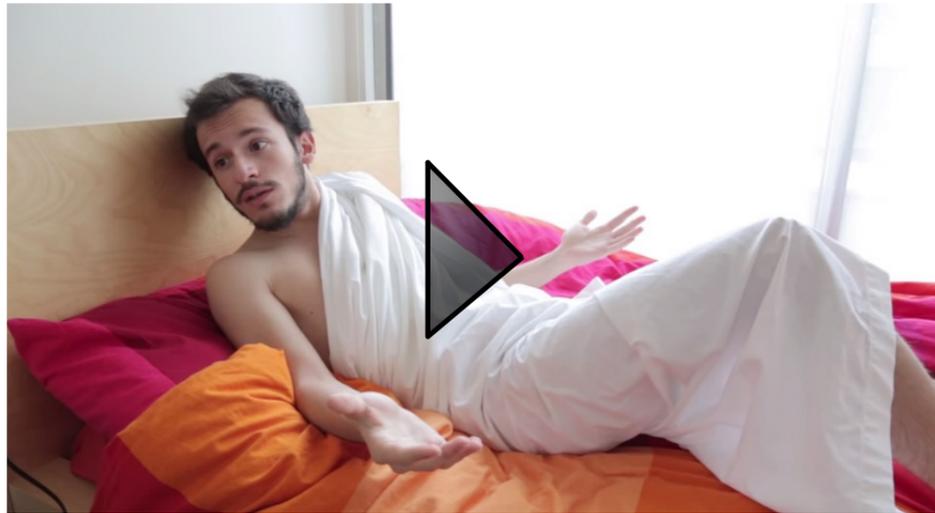
**RÉSUMONS :** lorsque l'on mange des carottes, on en extrait le carotène, on le coupe en deux pour fabriquer du rétinale, qui vient se fixer au fond de notre rétine... Ce sont littéralement des bouts de carotte plantés dans nos yeux qui nous permettent d'y voir ! ●

N.M.





## L'allégorie de la caverne de Platon



## L'optogénétique : Contrôler le cerveau avec de la lumière

**N**OTRE CERVEAU est sans nul doute la machine la plus complexe qui soit.

Il faut dire que chez nous les humains, on y trouve pas loin de 100 milliards de neurones, reliés entre eux par près d'un million de milliards de connexions.

**PAS ÉTONNANT** que l'on ait du mal à comprendre comment fonctionne ce satané cerveau !

**ET POURTANT** depuis une dizaine d'années, une technique nouvelle est apparue, qui est peut-être en passe de révolutionner les neurosciences : l'optogénétique.

### Le cerveau, un organe délicat à étudier

**UN CERVEAU**, c'est donc un gros paquet de neurones reliés entre eux, et qui passent leur temps à s'activer et se désactiver. Quand un neurone est activé, il envoie un signal électrique vers les autres neurones auxquels il est connecté : on dit que le neurone décharge.

**EN SIMPLIFIANT** on peut donc voir le cerveau comme une énorme machine comportant des milliards d'interrupteurs qui passeraient leur temps à alterner entre « on » et « off ». Et que faites-vous en temps normal pour essayer de comprendre le fonctionnement d'une machine pleine de boutons ? Pour ma part, j'appuie sur tous les boutons les uns après les autres et je regarde ce qui se passe !

**LE PROBLÈME** c'est qu'on ne peut pas faire ça avec le cerveau ! Il est en effet quasi-impossible de stimuler uniquement un neurone donné tout en laissant les autres inchangés. On en est donc généralement réduits à observer le cerveau en train de fonctionner, et

à essayer d'en déduire quelque chose sur le rôle de neurones ou de zones cérébrales données.

### Comment stimuler les neurones ?



**BIEN SÛR**, dans certains cas, il est possible d'activer une région du cerveau qui nous intéresse en y enfonçant une électrode délivrant des impulsions électriques (comme ci-contre sur une souris). Mais cette méthode a le défaut d'exciter généralement toute une zone, sans permettre de cibler un type de neurones donné.

**UNE ALTERNATIVE** consiste à injecter des molécules capables de se fixer sur certaines catégories de neurones pour les stimuler ou les inhiber. Cela peut permettre de mieux cibler, mais dans ce cas on perd toute réactivité car les effets se manifestent sur des échelles de temps de plusieurs heures. Pas idéal quand on sait que dans le cerveau, les signaux agissent en quelques millisecondes !

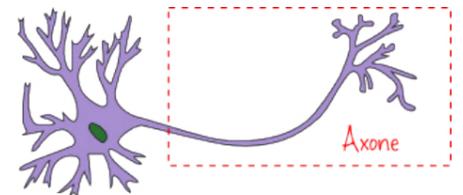
**LE RÊVE**, ce serait donc de disposer d'une technique permettant à la fois de cibler certains neurones de manière sélective, tout en permettant des stimulations sur des très courtes périodes de temps.

**EH BIEN** c'est précisément ce que permet de faire l'optogénétique !

**MAIS POUR** comprendre comment marche cette technique, il faut d'abord réviser la manière dont fonctionnent les communications dans notre cerveau.

**Le cerveau, un circuit électrique géant ?**

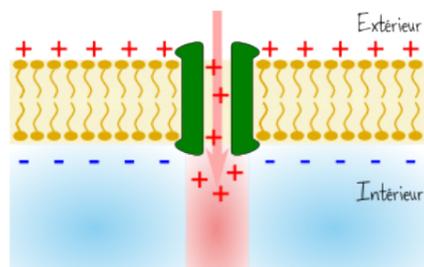
**DANS LA CONFIGURATION** la plus classique, un neurone du cerveau peut être relié à un autre au moyen d'un prolongement appelé axone, qui permet la propagation des signaux électriques. Il est assez tentant de voir l'axone comme un fil conducteur transportant de l'électricité, mais nous allons voir que cette analogie est un peu incorrecte.



**UN PEU PARTOUT** dans notre corps se promènent des ions, c'est-à-dire des atomes chargés : certains positivement comme Na<sup>+</sup> ou K<sup>+</sup>, d'autres négativement comme Cl<sup>-</sup>. Or la répartition de ces ions n'est pas la même de chaque côté de la membrane qui délimite les neurones : la charge est ainsi légèrement inférieure à l'intérieur. Il en résulte une petite différence de potentiel d'environ -70mV de part et d'autre de la membrane de nos neurones. On dit qu'elle est polarisée. Toute fois les neurones sont capables de modifier cette polarisation, et l'ingrédient qui leur permet de le faire est une protéine insérée dans leur membrane : le canal sodium.

**LE CANAL SODIUM** se comporte en effet comme une porte capable de laisser passer ou non des ions Na<sup>+</sup> de l'extérieur vers l'intérieur. Lorsque cela se produit, la charge à l'intérieur augmente et le potentiel peut passer de -70 à +100mV, seuil au delà duquel le canal sodium se referme et la polarisation retombe à -70mV.

**CETTE MODIFICATION** momentanée de la polarisation ne prend que quelques

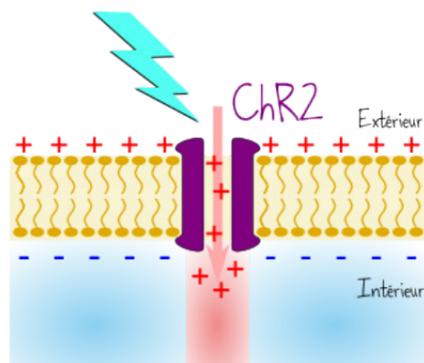


millisecondes et s'appelle un potentiel d'action. Au départ, ce dernier va être généralement créé dans la partie principale du neurone. Il nous faut maintenant comprendre pourquoi ce potentiel peut se propager le long de l'axone.

**CE QUI PERMET** cette propagation, c'est une particularité de ces canaux laissant passer les ions sodium : ils ont tendance à s'ouvrir justement si leur voisinage se dépolarise. Ainsi si un canal s'ouvre, une dépolarisation a lieu, stimulant l'ouverture du canal voisin, et ainsi de suite par effet domino tout le long de l'axone. Et c'est grâce à cette sorte de réaction en chaîne qu'un signal peut se propager le long de l'axone d'un neurone jusqu'aux neurones auxquels il est connecté. C'est comme ça que le neurone décharge.

## La channelrhodopsine: l'ingrédient clé de l'optogénétique

**MAINTENANT** que nous avons vu comment se propagent les communications électriques dans les cellules, je peux vous présenter la star du show, l'ingrédient clé de l'optogénétique : la channelrhodopsine 2 (ChR2 pour les intimes).



**LA CHR2** est une protéine découverte en 2002 dans une algue unicellulaire répondant au doux nom de *Chlamydomonas reinhardtii* [1]. Elle ressemble beaucoup au canal sodium,

puisqu'elle s'insère dans la membrane des cellules et peut laisser passer des ions. Mais sa grosse particularité, c'est que son ouverture est commandée par la lumière !

**EN EFFET** quand on lui balance de la lumière bleue, la protéine ChR2 change de forme et donne naissance à un petit trou d'environ 6 Angström, suffisant pour laisser passer les ions à l'intérieur de la membrane.

**C'EST EN LISANT** une publication sur ChR2 que le biologiste Karl Deisseroth et son équipe ont eu l'idée qui est à la base de l'optogénétique : si la ChR2 se comporte comme un canal répondant à la lumière, on peut l'utiliser pour faire décharger des neurones à la demande !

**L'EXPÉRIENCE FONDATRICE** a ensuite eu lieu en 2005 à l'université de Stanford au Etats-Unis. Deisseroth et sa bande ont cultivé dans une boîte de Pétri des neurones dans lesquels ils ont implanté la protéine ChR2. Et ils ont ensuite observé que ces derniers se mettaient à décharger quand on les éclairait avec de la lumière bleue ! [2]

**VOICI DONC** la technique que tout le monde attendait ! Un moyen d'activer les neurones d'une région donnée simplement en leur envoyant de la lumière. Restait à mettre en place la technique avec un vrai cerveau.

## Contrôler le cerveau avec de la lumière

**IL N'A PAS FALLU** longtemps pour que l'équipe montre la possibilité de modifier le comportement d'un cerveau à l'aide de lumière. La vidéo ci-dessous est extraite d'un travail publié par l'équipe de Karl Deisseroth [3]. On y voit une souris à qui on a administré la protéine ChR2 et greffé une fibre optique pouvant amener



la lumière jusqu'à son cerveau.

**COMME VOUS** pouvez le voir, quand la lumière bleue est allumée, la souris se met à tourner frénétiquement dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Et elle s'arrête quand on éteint le signal lumineux.

**D'ACCORD**, c'est un peu effrayant voire

cruel. Mais vous imaginez bien que le but de la technique n'est pas de s'amuser et de rigoler sur le dos de nos amis les rongeurs.

**L'OPTOGÉNÉTIQUE** permet en effet de stimuler de manière rapide et ciblée des zones et des neurones précis du cerveau, et de comprendre l'impact de leur activation sur le comportement de l'animal. C'est donc un moyen formidable de démêler l'écheveau de connexion neuronales de notre organe préféré, et de mieux comprendre comment il est câblé.

**A CE STADE**, vous pouvez vous demander quel est l'avantage de la méthode par rapport à la stimulation électrique classique, où l'on enfonce des électrodes dans le cerveau pour balancer des impulsions électriques. Eh bien la principale différence c'est qu'avec l'optogénétique, on peut cibler des types de neurones donnés. Car tous les neurones ne sont pas identiques !

**PRENONS** par exemple les neurones dopaminergiques, ceux qui utilisent cette hormone appelé dopamine. Ces neurones sont comparativement très peu nombreux (de l'ordre de seulement 400 000 dans le cerveau humain), et ils jouent pourtant un rôle essentiel, au point que leur dysfonctionnement est considéré comme une des causes de la maladie de Parkinson. Un des traitements de la maladie de Parkinson consiste justement à réaliser des stimulations à l'aide d'électrodes implantées dans les zones profondes du cerveau. Ce traitement semble fonctionner dans certains cas, mais les raisons de son efficacité ne sont pas encore très claires. Grâce à l'optogénétique, il a été possible d'élucider certains de ces mécanismes [4] en stimulant de manière sélective certains types de neurones.

**MAIS POUR FAIRE** ces stimulations ciblées, il faut s'arranger pour que la fameuse protéine ChR2 ne se retrouve que dans les neurones que l'on souhaite étudier. Et ça c'est la partie « génétique » de l'optogénétique.

## Contrôler l'expression de la ChR2

**POUR L'INSTANT**, j'ai un peu passé sous silence la manière dont on s'y prend pour que la protéine ChR2 se retrouve insérée dans la membrane des neurones. Rappelons-le : au naturel, cette protéine est produite dans une algue unicellulaire

bien spécifique, mais pas du tout dans le cerveau des animaux. Pour que ça marche, il faut donc faire en sorte que les neurones que l'on cible se mettent à produire cette protéine.

**COMME VOUS** le savez peut-être, dans le monde du vivant, les protéines sont produites à partir de l'ADN. Une partie des gènes servent en effet de plan de montage pour fabriquer les protéines. Donc pour qu'une cellule se mette à produire la protéine ChR2, il faut lui fournir l'ADN correspondant qu'on aura préalablement extrait de notre algue unicellulaire.

**IL EXISTE** plusieurs méthodes pour cela, mais la plus conventionnelle consiste à encapsuler dans un virus la séquence ADN qui nous intéresse, et à envoyer le virus en question infecter l'organisme cible. A l'aide de techniques classiques du génie génétique (comme l'utilisation de promoteurs), on peut même faire en sorte que seuls certains types de neurones fabriquent effectivement la ChR2 à partir de l'ADN injecté. Et c'est comme ça que la ChR2 ne se retrouve que dans les neurones qui nous intéressent, et que l'on peut ensuite contrôler à l'aide de la lumière.

**PAR EXEMPLE** sur la vidéo ci-dessous, on voit comment le contrôle optogénétique de certains neurones provoque un comportement boulimique chez la souris [5].



**ENCORE UNE FOIS** le but n'est pas s'amuser, mais de mieux comprendre par exemple quels sont les circuits de notre cerveau qui sont impliqués dans les dérèglements de l'appétit.

## L'avenir de l'optogénétique ?

**A CE JOUR**, ce sont probablement plus de 1000 laboratoires de recherche différents qui ont bénéficié de la technique mise au point par Karl Deisseroth et son équipe. Si certains leur prédisent déjà le prix Nobel, d'autres dénoncent le fait que la technique soit trop devenue tellement « tendance » qu'on se retrouve à l'utiliser même là où elle ne serait pas franchement nécessaire

(eh oui, en sciences aussi il y a des effets de mode !).

**MALGRÉ TOUT**, le domaine de recherche reste très actif, et de nombreux progrès ont été faits, notamment pour créer artificiellement d'autres protéines similaires à la ChR2, mais agissant de manière différente (par exemple en jouant le rôle d'inhibiteur au lieu d'activateur, en réagissant à des couleurs différentes ou avec des temps de réponse modifiés.)

**QUOIQU'IL EN SOIT** il faut noter qu'à ce jour son utilisation pour les primates reste très limitée, et on est probablement encore loin de pouvoir l'utiliser à des fins thérapeutiques sur l'être humain. Malgré tout, les expériences d'optogénétique sur nos amis les rongeurs vont certainement continuer à nous en apprendre beaucoup sur le fonctionnement du cerveau. •

## SCIENCE ETONNANTE

### SOURCES :

- [1] Nagel, Georg, et al. « Channelrhodopsin-2, a directly light-gated cation-selective membrane channel. » Proceedings of the National Academy of Sciences 100.24 (2003): 13940-13945.
- [2] Boyden, Edward S., et al. « Millisecond-timescale, genetically targeted optical control of neural activity. » Nature neuroscience 8.9 (2005): 1263-1268.
- [3] Aravanis, Alexander M., et al. « An optical neural interface: in vivo control of rodent motor cortex with integrated fiberoptic and optogenetic technology. » Journal of neural engineering 4.3 (2007): S143.
- [4] Gradinaru, Viviana, et al. « Optical deconstruction of parkinsonian neural circuitry. » Science 324.5925 (2009): 354-359.
- [5] Jennings, Joshua H., et al. « The inhibitory circuit architecture of the lateral hypothalamus orchestrates feeding. » Science 341.6153 (2013): 1517-1521.

SUR PODCAST SCIENCE



PODCAST 38 : LA LUMIÈRE



PODCAST 212 : LES LASERS AVEC NICOLAS GRANDJEAN

# L'astronomie,

discipline où la lumière est reine

**E**ASTRONOMIE, les expériences sont toujours des observations. De lumière visible d'abord, comme les premiers astronomes. Ils avaient l'avantage d'un ciel plus pur, non pollué (y compris la pollution lumineuse de nos villes et routes !). Mais ils utilisaient essentiellement leurs yeux, nus ou via des lunettes d'astronomie.

**LES INSTRUMENTS** d'aujourd'hui nous donnent une bien meilleure vue que celle de nos prédécesseurs. Nous sommes à présent capables de regarder des rayonnements invisibles pour nos yeux humains, comme les rayons infrarouges, rayons X voire rayons gamma. Et chaque rayonnement nous donne des informations différentes sur les astres que l'on observe. Toutes les longueurs d'onde étudiées sont complémentaires pour comprendre les phénomènes astrophysiques : étudier la température des étoiles, repérer les sursauts gamma très énergétiques ou la présence d'un trou noir au cœur de notre galaxie.

## Une espionne sur toute la ligne

**AVANT D'ARRIVER** jusqu'à nous, la lumière des étoiles a traversé l'immensité de l'espace. Or cette immensité n'est pas vide : il y a des nuages de gaz très diffus, d'autres galaxies... Et la lumière que nous recevons garde les traces de toutes ses rencontres. Étudier la lumière permet donc non seulement de connaître la source de cette lumière mais aussi tout ce qui se trouve entre cette source et le télescope.

## Le passé dévoilé

**LA LUMIÈRE** nous en apprend beaucoup sur la structure de l'univers, tel qu'il est aujourd'hui mais aussi tel qu'il était presque jusqu'à sa naissance. En effet, à cause de sa vitesse finie, la lumière met un certain temps à nous parvenir depuis l'endroit où elle a été émise. Et le rayonnement reçu nous donne une image de l'objet au moment du départ de la lumière. Donc plus on observe loin, plus on remonte dans le passé ! Ainsi, si la lumière met deux ans à nous parvenir d'une galaxie, nous regardons cette galaxie telle qu'elle était il y a deux ans. Et la lumière la plus ancienne que l'on puisse observer a été émise 300 000 ans après la naissance de l'univers, il y a environ 13,8 milliards d'années. Cette lumière « fossile » est appelée le fond diffus cosmologique et il nous renseigne sur l'état de l'univers à cette époque très ancienne. En comparant les structures observées à différents moments de l'existence de l'univers, donc à différentes distances par rapport à nous, les astronomes peuvent ainsi en déduire l'évolution de notre univers.

## Coup de projecteur sur la matière noire

**DEPUIS EINSTEIN** et sa théorie de la relativité générale, on sait que matière et lumière sont liées. La matière, comme une étoile ou une galaxie, modèle l'univers et la lumière suit les courbes qu'elle y trace. Ainsi, connaître le voyage de la lumière qui arrive sur le détecteur des télescopes permet d'en déduire les masses qui se trouvaient sur ce trajet. Y compris les masses invisibles à toutes les longueurs d'onde aujourd'hui atteignables par l'Homme. Cette matière noire constitue 26,8 % de notre univers (contre 4,9% pour la matière ordinaire, le reste étant de l'énergie noire) et la seule preuve de sa présence est ainsi son effet sur la lumière qui nous provient de lointaines galaxies !

**AUJOURD'HUI**, l'astronomie et l'astrophysique s'aident de plus en plus de simulations numériques et développent des théories aux prédictions pour le moment (?) inobservables. Mais la lumière, visible et invisible, reste l'outil principal de cette discipline et la source de bien des découvertes. ●

▲ Nébuleuse d'Orion. (NASA)

# PHOSPHORESCENCE, FLUORESCENCE : *entre les deux mon cœur balance*

1 Phosphorescence et fluorescence sont des phénomènes artificiels, ils n'existent pas dans la nature.

- vrai
- faux

2 Le terme de phosphorescence désigne :

- une carence en phosphore
- le phénomène physique qui permet à un matériau d'émettre une couleur vive lorsqu'il est éclairé
- le phénomène physique qui permet à un matériau d'émettre de la lumière dans le noir

3 Populaire en discothèque, la « lumière noire » ravive le blanc et les couleurs fluorescentes. Quelle longueur d'onde émet une telle lumière ?

- infrarouge
- ultraviolette
- antimatière

4 Les dents sont naturellement phosphorescentes.

- vrai
- faux

5 Quelle est la propriété des marques de sécurité des billets de banque ?

- leur couleur passe d'invisible à rouge vif lorsqu'elles sont mises en contact avec du nitrite d'ammonium
- elles sont phosphorescentes
- elles sont fluorescentes
- elles émettent un son évoquant *Le Poinçonneur des Lilas* de Serge Gainsbourg lorsqu'elles sont exposées à une source de chaleur

6 La fluorescence se retrouve à l'état naturel chez : (plusieurs réponses possibles)

- les plantes
- les animaux
- les microorganismes
- les roches
- nulle part, puisqu'on vous dit que ce phénomène est artificiel !

7 Quel phénomène n'est observable que lorsque le matériau a été exposé à une source lumineuse ?

- la fluorescence
- la phosphorescence
- les deux mon général

8 La lumière peut être considérée comme une somme de « petits grains » d'énergie. Comment appelle-t-on ces grains ?

- des atomes
- des photons
- des muons

9 La couleur d'un matériau fluorescent dépend de :

- son signe astrologique
- sa structure
- le spectre d'émission de la source lumineuse à laquelle il a été exposé

10 Le prix Nobel de chimie en 2008 a été décerné à trois scientifiques pour leur étude de :

- une protéine fluorescente issue d'une méduse
- un mécanisme d'agitation atomique à l'origine du phénomène de phosphorescence
- l'application de marqueurs fluorescents dans la prévention du cancer du foie

## SOLUTION :

*Découvrez les réponses à ces questions en vidéo !*



# Couleurs et lumière

LA COULEUR d'un objet est le résultat de l'interaction de trois facteurs :

la lumière qui l'éclaire (la source), l'objet lui-même (sa composition et son organisation interne) et l'observateur.

LA PERCEPTION des couleurs est subjective, chacun en a déjà fait l'expérience. Mais focalisons-nous plutôt sur l'aspect physique des choses... La couleur d'un objet est donnée par la fréquence des ondes lumineuses qu'il émet. De quelles manières un objet peut-il émettre de la lumière ?

## 1. LES OBJETS PASSIFS

D'ABORD, UN OBJET peut simplement réémettre la lumière qu'il reçoit d'une source de lumière extérieure. C'est le cas de la Lune, qui renvoie la lumière du Soleil. Mais c'est aussi le cas de la majorité des objets qui nous entourent. Ils renvoient soit la lumière du Soleil, ou la lumière de la lampe la plus proche.

### Le rôle de la source de lumière

D'AILLEURS, VOUS AVEZ déjà remarqué que les objets n'ont pas la même couleur suivant la source de lumière à côté de laquelle ils sont placés. C'est particulièrement flagrant dans le cas de l'alexandrite, une pierre précieuse qui apparaît verte à la lumière de l'astre solaire, et rouge sous une lampe à incandescence (une bête ampoule, quoi).

MAIS ALORS, l'alexandrite est-elle verte ou rouge ? Hé bien, si on la place sous une source de lumière parfaitement blanche (c'est-à-dire, qui émet autant d'intensité lumineuse dans chaque couleur) elle devient... incolore ! En fait, l'alexandrite absorbe surtout la lumière dans le bleu et dans le jaune, mais très peu dans le rouge et dans le vert. La lumière solaire, qui contient beaucoup de vert et moins

de rouge, fait apparaître la pierre verte, tandis que la lumière d'une ampoule, qui contient beaucoup de rouge et moins de vert, la fait apparaître plutôt verte. La couleur d'un objet telle que nous la percevons n'est donc pas une propriété intrinsèque des objets, mais dépend de l'environnement dans lequel ils sont placés.

LES PEINTRES IMPRESSIONNISTES ont beaucoup exploité cette idée de couleur changeante des objets. Monet par exemple, s'est attaché à capturer les teintes subtiles de la façade de la cathédrale de Rouen dans différentes conditions et à différents moments de la journée.

### Lumière et structure : quand la lumière joue avec elle-même

AVEZ-VOUS REMARQUÉ que certains objets ont une couleur changeante suivant l'angle sous lequel on les regarde ? C'est le cas des CD, des plumes

de paon, des ailes de nombreux papillons ou de la carapaces de nombreux scarabées. C'est la structure interne de l'objet, à l'échelle de la longueur d'onde de la lumière visible (c'est à dire de la centaine de nm à quelques µm environ), qui est responsable de cet effet.

UNE IMAGE AU MICROSCOPE à force atomique de la surface du CD révèle une alternance de zones sombres et de zones claires. Les rayons lumineux sont sensibles à cette alternance, et arrivés au niveau de l'oeil de l'observateur ils interféreront de façon complexe. Les rayons peuvent se détruire mutuellement - on dit qu'ils interfèrent destructivement - (dans ce cas on n'observera pas de lumière dans la zone dont les rayons proviennent) ou constructivement (dans ce cas on observera de la lumière). C'est pour cela que le CD apparaît constitué de zones grises dans lesquels on n'observe pas de lumière provenant de la réflexion directe sur le CD, et de zones colorées. En penchant plus ou moins le CD, on varie l'angle d'observation et ce qui déplace ces zones. Les rayons interfèrent constructivement ou destructivement à



▲ L'alexandrite, une pierre précieuse qui change de couleur selon l'éclairage. (David Weinberg)

▲ Monet, *La Cathédrale de Rouen* : Le Portail (effet du matin), Soleil Couchant (harmonie grise et rose) et Portail plein midi.



## 2. LES OBJETS ACTIFS, LES SOURCES DE LUMIÈRE

NOUS AVONS jusqu'à présent négligé le plus évident : les sources directes de lumière. On peut grossièrement distinguer deux façon de produire directement de la lumière :

- 1) par une réaction chimique (explosions, feux de bois) ou nucléaire (toutes les étoiles, dont notre Soleil),
- 2) en chauffant le matériau (fer chauffé au rouge, résistance électrique, ampoule à incandescence).

LA PREMIÈRE FAÇON de produire de la lumière est la plus évidente. La plupart des réactions chimiques qui dégagent de l'énergie, le font sous forme de chaleur et de lumière. Notez qu'on peut aussi faire l'inverse : capter de l'énergie sous forme de lumière pour déclencher une réaction chimique. C'est le principe de la photosynthèse, qui utilise pour cela la lumière du Soleil. Patiemment, au cours de leur vie, les plantes récupèrent la lumière du Soleil et l'utilisent pour bâtir leur tronc, leurs tiges, leurs feuilles. Lorsque l'on fait brûler un morceau de

bois, c'est l'énergie solaire stockée tout au long de sa vie par l'arbre que l'on libère. En un certain sens, la lumière d'un feu de bois est celle de notre étoile...

COMMENT CHAUFFER UN CORPS peut-il produire de la lumière ? La réponse est complexe, mêlant physique statistique et mécanique quantique... Étonnamment, la couleur de la lumière émise ne dépend en première approximation pas du type de corps que l'on chauffe, seulement de sa température ! Ce fait est très utile en astrophysique : connaître la couleur d'une étoile lointaine sur laquelle on ne pourra certainement jamais poser de thermomètre suffit pour en déduire sa température !

À PARTIR DU MOMENT où il est chaud, un objet se met à rayonner de la lumière. Mais attention, celle-ci n'est pas forcément dans le domaine visible ! Les objets relativement froids, comme ceux qui sont tout autour de nous quotidiennement, rayonnent surtout dans l'infrarouge, qui est invisible pour nous... mais pas pour tous les animaux. Les serpents par exemple possèdent des fossettes thermosensibles, qui captent le rayonnement infrarouge, ce qui permet à l'animal d'en déduire la température

des objets proches. Bien pratique pour repérer une souris, plus chaude que son environnement !<sup>3</sup>

### CONCLUSION

DU MONDE VÉGÉTAL aux étoiles, des pigments colorés aux pierres précieuses et aux serpents, les couleurs sont partout présentes, partout essentielles. La lumière est sans doute la forme d'énergie la plus manifeste dans l'univers, et le monde du vivant l'utilise sans cesse comme moyen de communication, d'exploration, et de découverte. Pas étonnant que les couleurs, si importantes pour nous, comme pour toutes les espèces, continuent de nous fasciner... ●

N.M.

#### SOURCE :

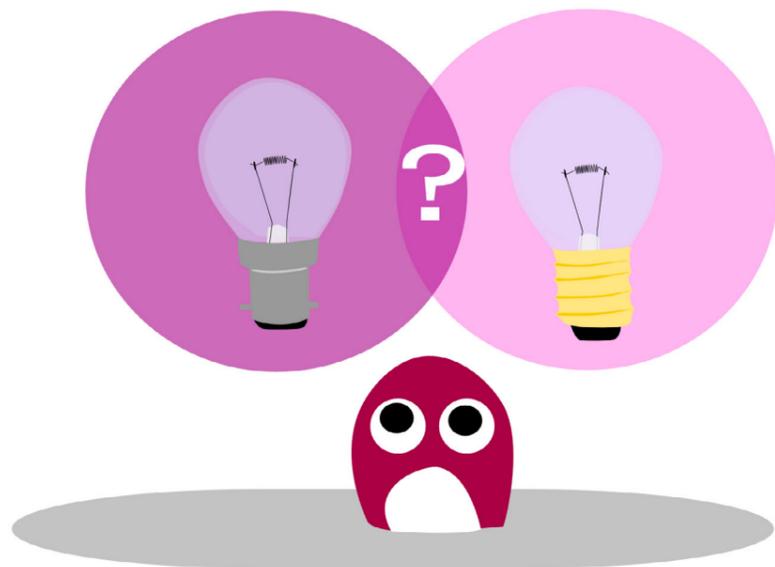
Bernard Valeur, *La couleur dans tous ses éclats*, Belin (coll. Pour la Science).

<sup>3</sup> Il semble même que certains serpents choisissent des lieux de chasse froids tout spécialement dans le but de bien repérer leurs proies à sang chaud !

## INFOGRAPHIE

### POURQUOI

existe-t-il historiquement deux types de culots ?  
Ou comment retracer toute l'histoire de l'ampoule à incandescence !



CLIQUEZ VITE



@Plogingenu

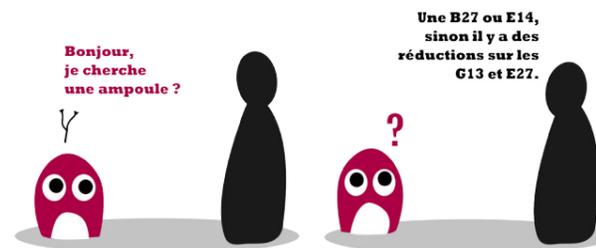
© H.M.

Brevetée par Thomas Edison en 1880, la première ampoule incandescente commercialisée utilisait un filament fait de bambou.

## INFOGRAPHIE

### PRATIQUE

#### Les petits noms des ampoules (1)



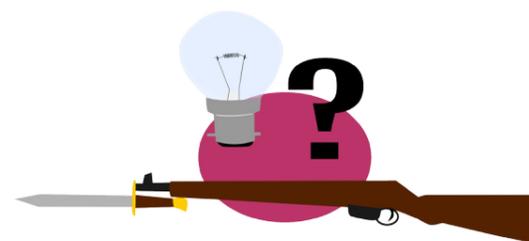
Mais il y a toujours des exceptions. Certains codes ont 3 lettres comme les BAX9s, ampoules pour les feux de voitures.



@Plogingenu

### PRATIQUE

#### Les petits noms des ampoules (3)



L'ampoule à baïonnette a-t-elle un lien avec l'arme du même nom ?

Oui, le nom original "bayonet base bulb" est dû aux pointes de métal qui sont au bout du culot, tout comme l'arme.

Mais qu'elle est l'origine du nom de cette arme ?

Autrefois, "baïonnette" s'écrivait "bayonnette", en référence à la ville Bayonne, lieu originel de la fabrication de l'arme.



© H.M.

@Plogingenu

### PRATIQUE

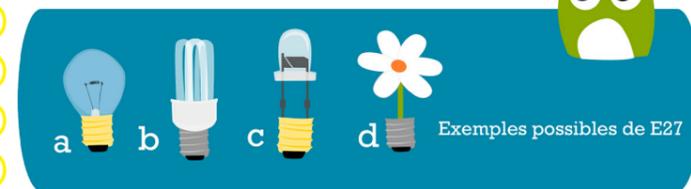
#### Les petits noms des ampoules (2)



Quelques exemples :

- B - culot à baïonnette
- E - culot à vis
- F - culot à une seule broche de contact
- G - culot à deux ou plusieurs broches
- K - culot à connexion flexible
- P - culot à pré-centrage
- R - culot à contact(s) encastré(s)
- S - culot cylindrique, sans ergot
- T - culot pour lampes de standards téléphoniques

Attention, une ampoule (ici E27) peut être aussi bien incandescente (a), fluorescente (b), bizarre (c) ou non fonctionnelle (d).



Exemples possibles de E27

@Plogingenu

### PRATIQUE

#### Les petits noms des ampoules (4)



#### Mnémotechnique :

les ampoules baïonnette sont de type B

et

les ampoules à vis Edison sont de type E



25

@Plogingenu

# Où est la lumière, l'origine de la vie ?

## EN BREF

- LES PREMIERS MAILLONS DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE N'ONT QUE LE SOLEIL COMME SOURCE D'ÉNERGIE. ELLES CONVERTISSENT CETTE ÉNERGIE LUMINEUSE EN ÉNERGIE CHIMIQUE PAR LE BIAIS DE LA PHOTOSYNTHÈSE.
- PETITE CURIOSITÉ DE LA NATURE, UNE POIGNÉE DE PLANTES PHOTOSYNTHÉTIQUES NE SONT PAS VERTES ; EN EFFET, TOUS LES VÉGÉTAUX N'UTILISENT PAS LES MÊMES PIGMENTS POUR CAPTER LA LUMIÈRE.
- D'AUTRE PART, CERTAINS VÉGÉTAUX NE SONT PAS CAPABLES DE SUBVENIR A LEURS BESOINS EN EXPLOITANT LA LUMIÈRE DU SOLEIL : CEUX-CI ONT RECOURS A DES PLANTES INTERMÉDIAIRES QU'ILS PARASITENT. UNE DERNIÈRE CATÉGORIE DE PLANTES COMPLÈTE SA PRISE D'ÉNERGIE PAR D'AUTRES STRATÉGIES, NOTAMMENT EN S'ASSOCIANT AVEC DES CHAMPIGNONS.
- ENFIN, LES PLANTES N'ONT PAS BREVETÉ LA PHOTOSYNTHÈSE. BRÈVE HISTOIRE DU MONDE ET DE L'ORIGINE DE CE MODE DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE...

UN FRACTION DU VIVANT

est l'incarnation du rock'n roll par excellence, en cela qu'elle est vieille comme le monde - ou presque - et qu'elle a, en toute simplicité, permis le développement de la vie sur Terre sous toutes ses formes actuelles. Cette fraction providentielle n'est autre que le règne végétal. Voilà une pensée à garder en mémoire la prochaine fois que vous croquerez une feuille de salade ! Tout porte à croire

que la première vie à avoir barboté dans nos océans fut une plante verte. Et par verte, nous entendons bleue : une cyanobactérie, algue capable de fabriquer sa propre énergie à partir de lumière. Les plantes sont encore aujourd'hui essentielles au maintien de l'ensemble du vivant : elles contribuent au cycle de la vie aussi bien malgré elles - en tant que proies, à la base de toutes les chaînes alimentaires - que de leur plein gré, par exemple en prélevant ou rejetant certains gaz. Ce sont d'ailleurs leurs ancêtres, qui ont donné à l'atmosphère terrestre sa composition actuelle en

dioxygène (O<sub>2</sub>) à hauteur de 21 %, et que nous devrions remercier chaque matin pour nous permettre de respirer ce bon air, toujours là quand on en a besoin - c'est-à-dire tout le temps. Si nous sommes donc plus ou moins directement dépendants des plantes pour vivre, ces dernières le sont à leur tour de la lumière : faites une rapide expérience, oubliez d'exposer votre citronnier en pot au soleil et il fera grise mine. Hmm, est-ce bien vrai ? Les plantes ont-elles véritablement un besoin vital de lumière ? Y a-t-il un contrat à leur relation ? Une enquête s'impose. Commençons par nous pencher sur ce

processus qui semble lier irrévocablement plantes et lumière : la photosynthèse. Puis il s'agira d'approfondir deux idées un peu folles : les plantes peuvent-elles s'affranchir de la lumière ? Cette photosynthèse est-elle le propre des végétaux ou bien existe-t-il d'autres organismes capables de se nourrir du soleil ?

## PHOTOSYNTHÈSE, QUI ES-TU ?

**L**A PHOTOSYNTHÈSE est un processus chimique qui cache sous un nom abominable son affection sans limites pour la Vie avec un grand V. Sans elle il n'y aurait rien de vivant sur et sous Terre. L'Histoire tournerait court. Car qu'est-ce que la Terre, sinon une grosse boule de cailloux mouillés éclairée par par une centrale nucléaire sphérique qu'on appelle le Soleil ? S'il n'y avait pas eu apparition de la photosynthèse à un moment donné de l'histoire du monde, notre planète serait sans doute restée à l'état de désert – règne de l'impitoyable Minéral.

remontent 3,8 milliards d'années en arrière), la matière organique n'abondait pas comme c'est le cas aujourd'hui. Pour se mettre une barre de carbone sous la dent, il fallait se lever très tôt. Ou alors il fallait la fabriquer soi-même. Ainsi sont nés les premiers auto-trophes, les vrais maîtres du monde. Puisqu'ils utilisent la lumière, nous pouvons pousser le vice jusqu'à les appeler photo-auto-trophes (du grec phôtos = lumière et trofos = se nourrir).

**POUR CES ORGANISMES** rusés (dont font notamment partie les plantes), l'éternelle quête de l'énergie se résume à une simple recherche de lumière. Pour eux, plus d'ensoleillement → plus de carbone (mais pas trop, sinon ça grille !).

**COMMENT EST-CE POSSIBLE ?** Le rayonnement du soleil étant composé de

verte, nous observons en réalité les déchets lumineux qu'elle n'a pas utilisés pour fabriquer ses carbohydrates.

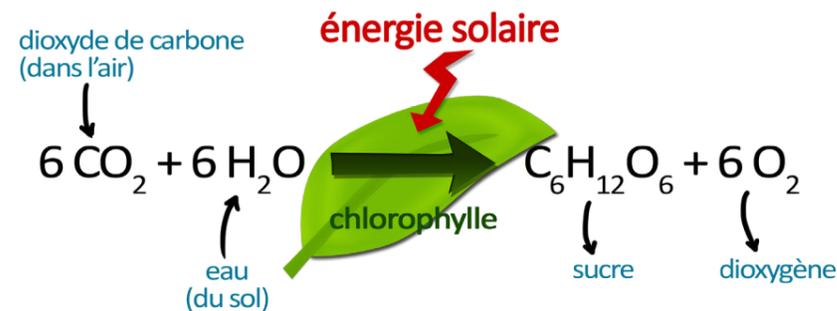
**LA PHOTOSYNTHÈSE** possède donc une composante physique indispensable, importée du Soleil. Son substrat chimique principal se trouve en abondance dans notre atmosphère. Il est d'ailleurs en train d'y prendre une place de plus en plus problématique, puisqu'il s'agit du fameux dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). La plante en consomme des quantités astronomiques. Elle a aussi besoin d'eau, comme chacun sait, ainsi que d'ions minéraux disponibles dans le sol. L'eau et le CO<sub>2</sub> sont directement impliqués dans la réaction de photosynthèse. Leurs molécules sont utilisées par la machinerie protéique des chloroplastes afin de former du sucre et du dioxygène, qui est un déchet. Un déchet ! Alors même qu'elle en respire (qui n'en respire pas ?), une plante rejette du précieux dioxygène. Et le moins qu'on puisse en dire c'est... heureusement pour nous.

**CETTE RÉACTION** est plus qu'un simple tour de passe-passe chimique puisqu'elle exige un important flux de photons pour fonctionner : il s'agit d'une réaction (bio-)photo-chimique. D'une, ça impose le respect. Et de deux : si nous humains savions faire ça, il n'y aurait plus ni réchauffement climatique ni famine ni guerre du pétrole.

Et concrètement... ?

**LES PHOTONS** captés par la chlorophylle jouent le rôle de déclencheur. Ils excitent des électrons pour les faire changer de porteur. Ces électrons sont de minuscules particules excitées, très mobiles, comme des bébés insupportables qui passeraient d'un porteur à l'autre. Ces porteurs sont des molécules qui modifient leur charge en acceptant de prendre dans leurs bras les bébés insupportables que sont les électrons. Temporairement, bien sûr. Car les électrons seront finalement acceptés par une molécule appelée accepteur (qui a dit que les scientifiques coupaient les poires en quatre?). La cascade chimique de la photosynthèse est alors amorcée.

**LES PLANTES** respirent (aussi), et leur autonomie est assurée par la photosynthèse. Telles deux roues



dentées d'un même moteur, photosynthèse et respiration usent puis recréent, usent et abusent de O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> afin d'assouvir leurs besoins en énergie.

**CETTE ÉNERGIE** n'est pas toute gaspillée en travaux physiologiques. Une part énorme peut être stockée dans le bois, le charbon, les carottes ou les patates – au gré des acteurs et

des circonstances. Tout est possible ; la chaîne alimentaire est déchaînée. C'est ainsi que lorsque nous, animaux, mangeons une pomme de terre, nous grignotons indirectement un petit morceau du Soleil.

**LA PHOTOSYNTHÈSE** telle que nous venons de la décrire étant une base, divers organismes ont laissé libre cours à leur créativité

naturelle afin de « l'améliorer ». Après avoir découvert une multitude de créatures utilisant la lumière de manière assez contre-intuitive, il a fallu définir une base commune à la photosynthèse. Le choix fut rapide : quand on parle de photosynthèse, on fait désormais référence à une conversion d'énergie lumineuse en énergie

chimique. Pas plus compliqué que ça. À partir de là, la magie de la Vie s'est autorisée à broder d'innombrables variations toutes plus sidérantes les unes que les autres.

Petite mise en lumière...



### Les vrais maîtres du monde

**POUR ASSEMBLER** le matériel cellulaire nécessaire à la vie, les premiers organismes photosynthétiques avaient déjà besoin d'énergie (rien de nouveau sous le Soleil). Cette énergie se présente sous la forme de « barres énergétiques » carbonées, quasi impossible à trouver à l'état naturel. En effet ! Aux origines de la vie (les prémices de la photosynthèse

photons, qui sont de minuscules particules en rien comparables aux énormes carbohydrates (les barres énergétiques carbonées les plus célèbres), comment la lumière peut-elle « nourrir » les plantes ?

**TOUT SE PASSE** dans de petits compartiments intra-cellulaires appelés chloroplastes. Ces vésicules regorgent de pigments (la chlorophylle étant l'un d'eux) qui absorbent toutes les couleurs de la lumière qui leur parvient à l'exception du vert. Ainsi, quand nous voyons une plante

## CES PLANTES PHOTOSYNTHÉTIQUES... QUI NE SONT PAS VERTES

**L**ES ROSES SONT ROUGES, les violettes sont bleues... et toutes les plantes ne sont pas vertes. Voilà qui a de quoi en boucher des coins ! Et pourtant, il existe bel et bien des végétaux « non verts » qui se procurent de l'énergie par le biais de la photosynthèse, nous avons nommé : les algues rouges et les algues brunes.

Comme votre intelligence dépasse nos compétences en basse flatterie, ô doux lecteurs dont le ramage se rapporte au plumage, nous ne vous ferons pas l'affront d'expliquer la couleur respective de ces algues. Or donc, les algues vertes - regroupant un gros paquet d'espèces parmi les plantes et les eucaryotes -,



rouges (Rhodophycées) et brunes (Phéophycées) peuplent chacune des profondeurs océaniques différentes. Coïncidence ? Chers amis, peut-on parler de coïncidence quand on s'aperçoit qu'il y a autant de bières dans un pack que d'heures dans une journée ? Bien peu, en effet. Enfin, c'est-à-dire qu'on peut parler de hasard au tout début, mais c'est une longue histoire qui exigerait d'introduire un certain personnage nommé Darwin et ça risquerait vite de devenir un peu long.

**POUR SAISIR LE LIEN** entre la profondeur des algues et leur couleur, il faut tout d'abord comprendre à quoi est due la couleur verte d'une plante. Elle provient d'un cocktail (mot redondamment amusant s'il en est de la langue anglaise) de pigments contenus dans la tige et les feuilles. Ces

pigments absorbent une portion bien précise du spectre lumineux, et c'est la couleur correspondant aux longueurs d'onde non absorbées que nous voyons. Par exemple, les pigments chlorophylle absorbent les longueurs d'onde qui correspondent au rouge, conférant aux plantes « ordinaires » une couleur verte.

**MAIS ALORS**, les plantes qui ne sont pas vertes n'ont-elles pas de chlorophylle ? Eh bien si ! Explications : la chlorophylle est le seul pigment dit actif : c'est le seul qui, en recevant de la lumière aux bonnes longueurs d'onde, agite ses atomes telle Shakira son postérieur et permet à la plante de générer son énergie. Mais cette chlorophylle ne fait jamais cavalier seul : elle préfère s'accompagner d'autres pigments, qu'on appelle accessoires. Ces derniers captent d'autres longueurs d'onde qu'ils retransmettent en longueurs d'onde « visibles » par la chlorophylle et qu'elle peut donc convertir en énergie. Chez les plantes vertes, ces pigments sont des caroténoïdes. Leur couleur jaune-orangée est cependant masquée par la chlorophylle, sauf en automne : à cette saison, la chlorophylle est la première molécule détruite. Les caroténoïdes pouvant alors s'exprimer pleinement. Les feuilles se parent de couleurs chatoyantes dont la beauté n'a d'égal que leur fâcheuse tendance à masquer les crottes de chien émaillant le trottoir.

**VOUS NOUS AVEZ** probablement vu venir, la différence entre plantes vertes et non vertes nous vient de ces fameux pigments accessoires : les algues rouges contiennent des pigments appelés phycobilines qui absorbent dans le vert et le bleu, et leur confère une couleur rouge. Quant aux algues brunes, elles le sont - brunes - parce qu'elles contiennent principalement un pigment caroténoïde du nom de fucoxanthine qui absorbe dans le bleu-vert.

**COMME VOUS AVEZ** tout suivi, lecteurs assidus, il est temps que vous nous posiez la question ; à celle-ci, nous vous répondrons 42. Et si à présent, vous nous demandez : « si les couleurs des algues diffèrent à cause des pigments qu'elles contiennent, que diantre cela peut-il bien avoir à faire avec la profondeur de ces algues ? », alors nous vous répondrons que la réponse est dans la question. Les rayons du soleil sont filtrés par l'eau de

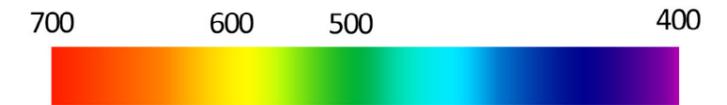
la mer ou de l'océan : plus on descend vers le fond, plus ça va être tout noir. En d'autres termes, plus une algue habite en profondeur, plus il faudra qu'elle capte un maximum de ces rares rayons lumineux qui lui parviennent si elle espère pouvoir survivre. Donc ses pigments accessoires captent les longueurs d'onde qui lui parviennent et les traduiront en longueurs d'onde captées par la chlorophylle, laquelle agitera ses atomes et permettra ainsi de convertir la lumière en énergie. Sous la surface de l'océan,

les algues vertes, atablées à un véritable festin de lumière, ne connaissent pas la privation et fonctionnent donc comme ces plantes vertes ordinaires - grâce au cocktail chlorophylle + caroténoïdes. Au niveau -1, les algues brunes captent les miettes de lumière dans les bleus et ultraviolets grâce à leur fucoxanthine et, remisées au -2, les algues rouges utilisent leurs phycobilines pour capter les miettes de lumière (dans les bleus-verts) qui leur parvient. CQFD !

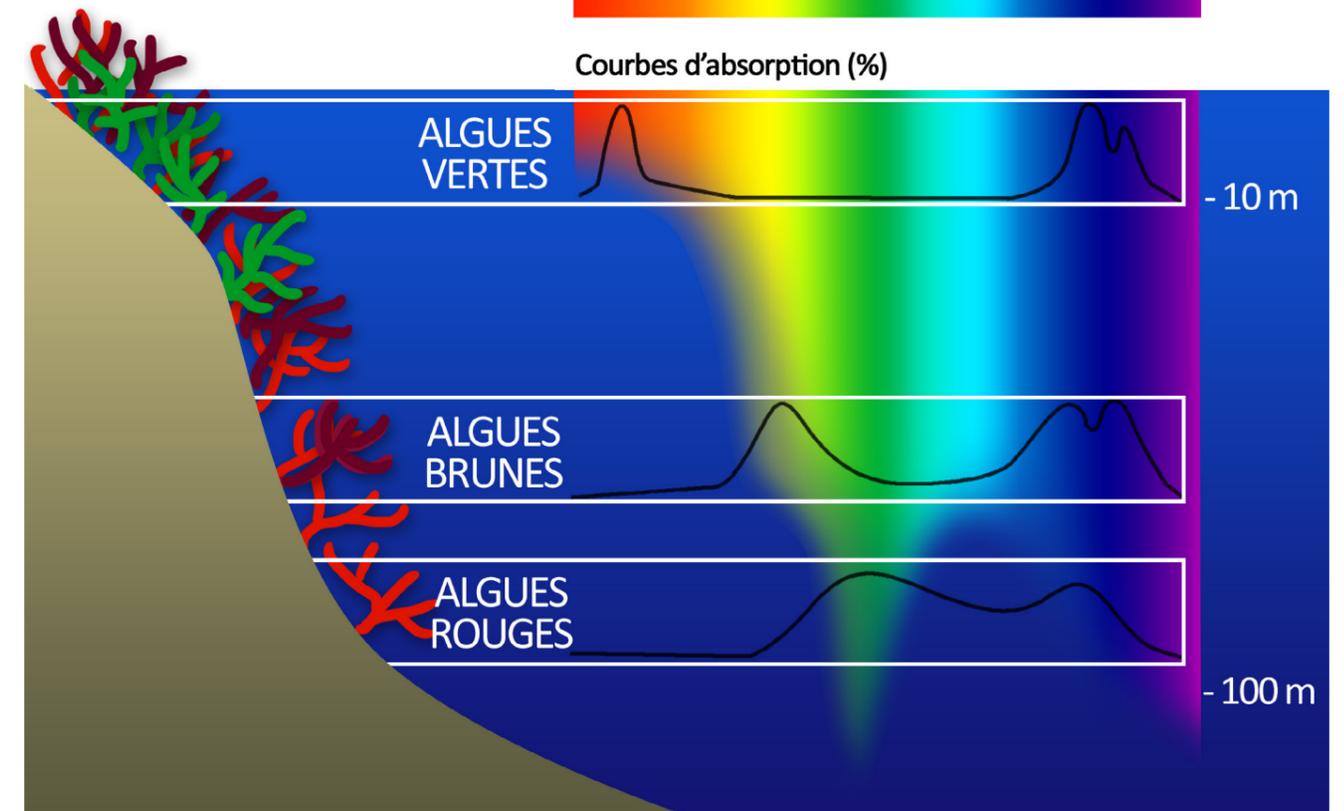


**L**es poissons-lanternes ou Myxophidés (*Myxophidae*, du grec mykter, « nez » et ophis, « serpent ») forment une famille de poissons vivant dans la zone aphotique (dénuée de lumière) des océans. Ils sont appelés ainsi du fait de leur remarquable aptitude à la bioluminescence. Les poissons lanternes représentent à eux seuls 90 % de la biomasse des profondeurs abyssales.

### Spectre de la lumière solaire longueur d'onde (nm)



### Courbes d'absorption (%)



▲ Comment la couleur des algues est liée à leur profondeur : la couleur dépend des pigments qu'elles contiennent, lesquels leur permettent d'exploiter les longueurs d'onde lumineuses qui parviennent jusqu'à elles. (d'après le site <http://svt-oehmichen.over-blog.fr>)

### L'homme a fait évoluer ses techniques pour voir dans le noir

#### Feu

Le feu est une des premières sources lumineuses et reste encore largement utilisé.

#### Inconvénient :

Pas très pratique à transporter

#### Avantage :

Permet de se réchauffer et de cuisiner



**Q** **MAGINEZ-VOUS** dans un monde où ni fast-food, ni restaurants, ni snacks, ni boulangeries, ni plats préparés n'existent. Par le plus grand des hasards, il s'avère que vous êtes à la cuisine ce que Vil Coyote est à Bip-bip : toutes vos tentatives se terminent inexorablement dans la douleur et le désespoir. Et votre estomac qui ne cesse de gargouiller ! Pour remédier à cela, il ne vous reste plus qu'à vous introduire chez Madame Giboulot, la vieille mégère à moitié sourde et complètement sénile qui hante le troisième étage, vous faire passer pour un ramoneur afin de pénétrer dans son appartement, lui chaparder sa tarte aux pommes à peine sortie du four et vous tirer en vitesse avant qu'elle ne réalise qu'elle n'a pas de cheminée.

**CHEZ LES HUMAINS**, cette option serait à proscrire du fait de son caractère moralement condamnable. Dans la nature cependant, point de bien ni de mal : la faim justifie les moyens ! A l'image du piètre cuisinier que vous êtes, certaines plantes sont incapables de produire leur propre énergie (des sucres) à partir des rayons du soleil car elles ne possèdent pas de chlorophylle, ce pigment à la base de la réaction chimique de la photosynthèse. On les qualifie d'hétérotrophes, contrairement aux végétaux doués de photosynthèse qui sont, eux, des autotrophes. Les hétérotrophes sont donc condamnées à adopter cette bien cruelle technique de survie.

### Les plantes non photosynthétiques parasites

Citons la cuscute (genre *Cuscuta*), un nom bien loin d'éveiller la moindre angoisse chez quiconque. Méfiez-vous cependant, cette petite peste est capable des pires choses ! Sigmund Freud nous dirait sûrement que sa cruauté provient de son absence de chlorophylle et de racines qui l'ont rendue aigrie dès le jardin d'enfants. En parasite qui se

respecte, elle se munit de son redoutable suçoir et harponne sa cible - ou plante-hôte. Là, elle transperce la chair de la malheureuse victime chlorophyllienne jusqu'à atteindre sa précieuse tuyauterie vitale et y pompe joyeusement son casse-croûte quotidien, un buffet de nutriments puisés dans la sève élaborée de la plante-hôte.



▲ Cuscute du thym (*Cuscuta epithymum*)  
J.F. Gaffard (Wikimedia Commons)

**MAIS IL Y A PIRE** : le teint blafard, l'œil fuyant, voici venu le monotrope uniflore (*Monotropa uniflora*). Cette herbacée a l'esprit tordu : à l'aide de ses racines, à l'abri des regards, elle va chercher l'association réciproque et heureuse qui s'est installée entre un champignon et les racines d'une plante verte dans le sol, se branche sur ce réseau souterrain et se sert en nutriments sans rien donner en retour.



▲ Monotrope uniflore (*Monotropa uniflora*)  
M. Manske (Wikimedia Commons)

### Les plantes photosynthétiques symbiotiques

**IMAGINONS** maintenant que vous soyez un fin cordon bleu mais que vous souhaitiez tout de même varier vos menus pour agiter vos papilles. Vous iriez probablement convaincre votre charmante voisine italienne de vous concocter une montagne de ses délicieuses tortellini alla arrabiata, en échange du fameux bœuf bourguignon dont vous avez le secret. Voilà un procédé honnête.

**DE LA MÊME MANIÈRE**, de nombreuses plantes photosynthétiques aiment mettre du beurre dans leurs épinards, souvent en faisant ami-ami avec des champignons. Elles s'en remettent alors à un « troc » équitable, qu'on appelle symbiose. Parmi ces associations dont l'esprit d'entraide et de partage arracherait une larme à l'Abbé Pierre lui-même, on compte les lichens. Ces drôles de mousses ne sont autre que l'union d'une algue unicellulaire - une cyanobactérie - et d'un champignon. Le champignon va accueillir l'algue vagabonde, lui offrir le gîte et le couvert : de l'eau et des sels minéraux. En échange, l'algue va fabriquer du glucose pour les deux « symbiotes » qu'ils sont, ce que le champignon n'est pas capable de faire car il n'est pas doué de photosynthèse. Dans le sol, de nombreux végétaux font également appel à ce genre de deal, dont nous avons d'ailleurs fait référence plus haut : en connectant leurs racines avec les « bras » - baptisés hyphes - des champignons, ils forment ce qu'on appelle poétiquement des mycorhizes. De cette manière, la plante fournit un casse-croûte - des molécules - au champignon, qui en retour met à son service ses hyphes pour lui permettre d'explorer une plus grande surface du sous-sol en quête d'eau et de nutriments. Les champignons finissent même par former un réseau connectant plusieurs arbres ensemble ! Ainsi, si l'un d'eux est mal en point, il puisera dans le réservoir souterrain de carbone entretenu par ses petits copains végétaux. Ce genre d'association est beaucoup plus fréquent qu'on ne



▲ Thalle de lichen (*Flavoparmelia caperata*), (dimension d'une pièce de deux euros).  
N. Nagel (Wikimedia Commons)

l'imagine : on estime qu'environ 90 % des plantes sous climat nord-tempéré utiliseraient cette technique !

### Les plantes photosynthétiques semi-parasites

**ENFIN**, le gui (genre *Viscum*), qui ne possède pas de racines, se procure de l'eau et des sels minéraux en parasitant des plantes-hôtes, à l'image de la terrible cuscute. Toutefois, à la différence de cette dernière, il se branche sur le conduit de la sève « brute » et utilise son butin pour fabriquer ses propres sucres grâce à la lumière du soleil, contrairement à la cuscute dite La Flemmarde, qui dérobe directement la nourriture prémâchée et n'a plus qu'à la digérer à l'ombre de sa plante-hôte bercée par l'entêtante rumeur des cigales.



Un gui (*Viscum spp.*) à faire pâlir d'envie tout le casting de Rrrr.  
Kimagurenote (Flickr)

## REDONNER DES COULEURS AU MONDE : CES ORGANISMES PHOTOSYNTHÉTIQUES... QUI NE SONT PAS DES PLANTES

### Episode 1 : La Grande Oxydation

IL Y A fort fort longtemps, au Paléoprotérozoïque, la Terre n'avait pas encore d'oxygène dans l'air, ou très peu. Ce qui ne la rendait pas invivable, bien au contraire. La vie s'y déroulait en anaérobiose, c'est-à-dire en absence d'oxygène. C'était donc le règne des bactéries. L'atmosphère était riche en méthane et en dioxyde de carbone, deux gaz à effet de serre puissants qui rendaient le climat beaucoup plus chaud qu'il ne l'est aujourd'hui. La Terre, au Paléoprotérozoïque, ressemblait à l'enfer. Il y faisait une chaleur mortelle et l'air était toxique (pour nous humains). Le ciel était noir car il reflétait l'infinité de l'espace. Le paysage n'était que nuances de gris et de rouge, du fait des quantités astronomiques de fer qu'il contenait – notamment dans la mer.



▲ Une cyanobactérie qui vous veut du bien : la spiruline. (Wikimedia Commons)

NOUS AVONS déjà parlé des cyanobactéries associées à des champignons. Un petit pourcentage d'entre elles était néanmoins capable d'une vie autonome. C'est dire qu'elles étaient capables de photosynthèse et autotrophes, ce qui signifie qu'elles se nourrissaient (-trophe) toutes seules (-auto). Comme leur nom l'indique (cyanobactéries ou bactéries de couleur cyan), elles avaient une teinte

variant du bleu au vert, en passant occasionnellement par le marron, le noir, le rouge, le violet, etc. (car la Nature se fout bien de la logique de l'Homme). Les pigments qui leur donnaient cette couleur particulière étaient variés, le principal étant un bien connu de nos services : la chlorophylle.



© D.D.

### Episode 2 : Le jour où le ciel devint bleu

UN SCÉNARIO catastrophique était sur le point de se dérouler. Puisant dans les réserves quasi infinies de CO<sub>2</sub> dont la Terre disposait alors, les cyanobactéries se mirent à pulluler. Ce faisant, elles rejetaient dans cette atmosphère naissante une quantité proportionnelle d'O<sub>2</sub>, le fameux dioxygène. Mais un équilibre était rompu. Les cyanobactéries, à l'inverse de nos plantes (et de nous), ne respiraient pas de dioxygène, qui était pour elles un parfait déchet. Dans les premiers temps, rien ne se passa de spectaculaire. L'oxygène rejeté réagissait avec le fer ferreux qui abondait sur Terre. Les plages en étaient rouges. Mais, lorsque le fer vint à s'épuiser, et que les couches rougeâtres furent « nettoyées » de la surface des plages, l'oxygène commença à s'accumuler dans les mers et dans... l'air.

COMME DANS TOUS les systèmes en rupture d'équilibre, la balance (O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) se mit à pencher dangereusement...

Mais le dioxygène n'avait pas les propriétés de son prédécesseur.

Optiques, dans un premier temps. Le ciel noir de l'époque reflétait le vide atroce de l'espace et la lumière crue du soleil. L'apparition d'une véritable atmosphère eut pour effet de commencer à filtrer cette lumière. Car l'atmosphère absorbe une partie des rayons lumineux, réémettant de magnifiques reflets bleutés.

### Episode 3 : La Grande Glaciation

LE DIOXYGÈNE avait d'autres différences avec le dioxyde de carbone qu'il remplaçait. Il était toxique pour êtres vivants anaérobies, qui fonctionnaient à l'inverse de nous humains. Rien de grave d'abord. Puis il leur fallut s'adapter. Au fur et à mesure que l'atmosphère se chargeait en oxygène, les conditions passaient lentement d'anaérobiose à aérobie. Ce changement présageait la venue de créatures vivantes pluricellulaires qu'on pourrait un jour baptiser animaux.

CERTES. Mais O<sub>2</sub> était aussi un très



© V.D.

mauvais gaz à effet de serre. Très, très mauvais. Il retenait moins bien la chaleur du soleil aux alentours de la Terre que CO<sub>2</sub> son prédécesseur. De sorte que la température globale se mit à diminuer. L'heure était au refroidissement climatique. Les cyanobactéries, comme nous à notre heure, avaient enrayé leur écosystème au point de dérégler leur climat. Elles n'ont pas su s'arrêter à temps. Pour référer à cet épisode critique

de l'histoire de la vie, nous parlons de Grande Glaciation, l'une des crises écologiques les plus dramatiques de tous les temps. À partir de là, le phénomène se mit à s'accélérer ou à ralentir selon des événements divers tels que la fonte des glaces et le charriage de nutriments vers les océans. Mais jamais, jamais on ne vit un retour aux conditions d'origines. Mais il ne faut jamais dire jamais. Car nous humains sommes bien en train d'inverser le processus en rejetant d'immenses quantités de dioxyde de carbone.

### Episode 4 : Pendant ce temps-là, dans la mer rouge



▲ Mer Rouge, à Babbacombe (Turquie).

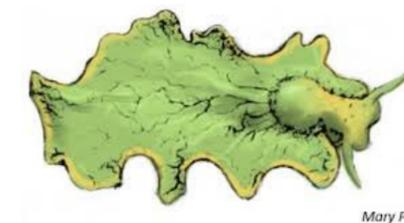
© Derek Harper

DES MILLIONS D'ANNÉES passèrent comme un rayon de soleil. Le monde s'enrichit d'êtres variés et passionnants. Ce nouvel air riche en oxygène, s'il fut critique pour les bactéries anaérobies, devint un atout pour la vie pluricellulaire dont nous humains faisons irrémédiablement partie. Mais cette crise écologique (et celles qui allaient suivre) n'avait pas eu raison de toutes les cyanobactéries. Certaines d'entre elles s'adaptèrent à l'air du temps et acceptèrent de respirer du dioxygène, ce vulgaire déchet. Une colonie de celles-ci s'installa dans la mer, en bordure de l'actuelle Arabie Saoudite. Préférant le statut « d'algues unicellulaires » à celui de bactéries, les membres de cette famille venaient de trouver leur terre promise. Elles y pullulèrent, fleurissant tant et si bien que la mer devint rouge

de leurs efflorescences chargées d'un pigment : la phycoérythrine.

### Episode 5 : La revanche des limaces

EN MER TOUJOURS. Par un beau dimanche ensoleillé, une certaine *Elysia* allait révolutionner la physiologie en prenant un brunch tardif. Constatant qu'elle perdait la moitié de son temps et de son énergie à se nourrir, elle se mit à étudier sérieusement l'idée d'arrêter. Son plat favori, de minuscules algues vertes, n'avait pas l'air de se casser la tête plus que ça pour se nourrir, lui. Mangeait-il seulement ? *Elysia* comprit que non. Les algues qu'elle mangeait se repaissaient de lumière. Elle fut bouleversée de trouver tant de poésie dans son assiette. Elle s'excusa auprès des algues. Peut-être émit-elle la promesse de ne plus jamais en manger... Toujours est-il que les algues entendirent son appel et lui proposèrent un deal. *Elysia* pouvait manger quelques-unes d'entre elles et utiliser leurs chloroplastes pour réaliser la photosynthèse, elle aussi. Une fois bien chargée de chloroplastes, *Elysia* n'aurait plus jamais faim ; ou presque. Sans le savoir, la limace de mer et ses algues vertes venaient d'inventer la kleptoplastie (ou kleptomanie des chloroplastes). Une invention qui allait en inspirer plus d'un...



Mary Pearl

▲ Une limace de mer qui se nourrit de lumière : *Elysia chlorotica*.

### Episode 6 : Le retour du solaire

PLUS DE 2,4 milliards d'années après le début de cette histoire, nous humains avons émergé – du néant ou Dieu sait d'où. Nous reproduisons, à notre façon, le scénario catastrophe de la Grande Oxydation. Mais nous innovons également et, d'une certaine manière, nous avons su nous inspirer de ce que la Nature avait mis à disposition. La photosynthèse, par exemple.

SI LES BACTÉRIES, les plantes et même les limaces savent le faire, alors pourquoi pas nous humains ?

QUI NE VOUDRAIT PAS de happy end à cette histoire ? Résoudre la faim dans le monde, le problème de l'énergie, le réchauffement climatique et la pollution d'un seul coup de génie. La cellule photoélectrique est une étape sur le chemin. Une étape seulement. Parce qu'en une petite heure seulement, la Terre reçoit plus d'énergie de la part de notre étoile que toute la population mondiale est capable d'utiliser. En un an. Ainsi de la feuille artificielle du Pr Nocera, de la photosynthèse artificielle du NREL, et peut-être de la grande révolution scientifique à venir.

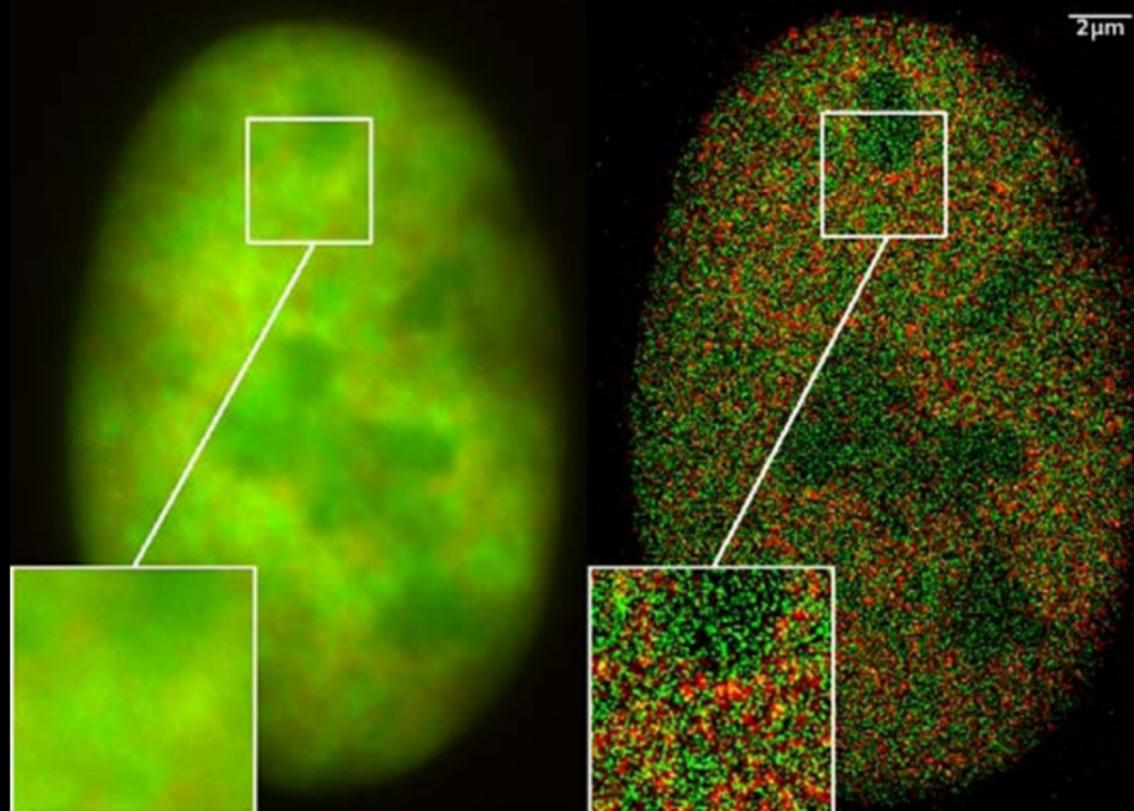
POUR QUE le farniente d'une matinée sur la plage soit aussi nourrissant qu'une coupe de poires au miel dégustée sous la tonnelle. ●

D.D. & V.D.

#### SOURCES :

- Futura-sciences
- Science.lu
- La Recherche
- Cours-pharmacie
- Wikipédia
- Kidiscience
- Pour la science
- Le Monde

# Nanoscopie : une surprise de taille aux Nobel 2014



▲ Jolie protéine en forme d'œuf qu'il est désormais possible d'observer au microscope. (Wikimedia Commons)

**C**OMME LE SAVENT les philosophes, l'image d'un point n'est pas un point, même observé à travers les meilleurs microscopes. Et comme le savent les physiciens, du fait de la diffraction de la lumière le point se présente plutôt sous

la forme d'une vilaine tache, qu'on appelle la tache d'Airy. Or les taches d'Airy ne sont pas l'image exacte des points : elles sont beaucoup moins disciplinées. Quand deux taches sont très proches l'une de l'autre, elles entament aussitôt les hostilités, de sorte qu'il devient quasiment impossible de les différencier. On pourrait dire que les images des deux points entrent en conflit. Même

au moyen des microscopes optiques actuels, on ne peut distinguer qu'un amas informe qui ne ressemble à rien (en tout cas pas aux deux points originaux). En microscopie, ce problème ancestral est appelé « limite de résolution » ou limite de Abbe. C'est un problème épineux qui a été décrit au XIX<sup>e</sup> siècle par un certain Ernst Abbe, qui devait être un

sacré pessimiste, puisqu'il a entraîné des générations de scientifiques à croire qu'on

**COMMENT LES  
MICROSCOPES DU XXI<sup>e</sup>  
SIÈCLE FEINTENT LA  
LUMIÈRE POUR RÉALISER  
L'IMPOSSIBLE.**

« ne peut pas améliorer la résolution d'un microscope au-delà de 0,2 micromètres ». Mais alors, qu'en serait-il de ces toutes-petites-choses-minuscules qui mesurent moins de 0,2 microns ? Les protéines ? Les virus – Ebola – HIV ? Ne pourra-t-on jamais les observer ? Pas possible, répond Ernst Abbe. Et il avait des arguments, le bougre : la lumière est ainsi faite qu'elle ne permet pas de voir ce qui est plus petit que sa longueur d'ondes. Abbe, plus réaliste que pessimiste, donc...

A moins de tricher, répondent les trois Nobel de chimie de cette année. La triche en microscopie ne date pas d'hier (on avait déjà inventé le microscope électronique pour faire la nique à la loi d'Abbe). Pour que personne ne vienne dire que les scientifiques sont chafouins, on pourrait parler de nanoscopie plutôt que de microscopie.

**PREMIER LAURÉAT**, Stefan Hell, inventeur d'une variante de la microscopie à fluorescence, qu'il a nommée microscopie à déperdition par émission stimulée qu'on préférera appeler STED pour éviter la migraine. Prenons une protéine marquée. Si on voulait l'observer avec un microscope à fluorescence classique, il faudrait l'illuminer avec un faisceau laser. Mais les différents points de cette protéine étant si proches les uns des autres (rappelez-vous qu'une protéine est en général minuscule et composée d'un très, très grand nombre de points) qu'en les regardant, ces points, même de près, on ne voit que des taches (d'Airy). Ce serait comme de zoomer un très grand nombre de fois sur une photo ; même en HD, le résultat finira toujours par être un vilain amas de taches indisciplinées.

Mais S. Hell, en plus d'avoir

un nom de rockstar, a eu l'excellente idée d'incorporer un deuxième rayon laser, autour du premier. Celui-ci, dit rayon d'éteuffement, a pour rôle de calmer (on dit éteindre) les points voisins du point observé. Les images de ces points ne sont pas indisciplinées puisqu'elles n'existent plus. C'est un petit peu radical, ça paraît génocidaire, et on est en droit de se demander d'observer une protéine si on en voit moins qu'un infime pourcentage. Mais la magie de la technologie autorise des folies impensables du temps de E. Abbe. Le « nanoscope » de S. Hell scanne la protéine à très grande vitesse, de sorte que chaque point a droit à son quart d'heure de gloire. Chaque point passe sous le feu des projecteurs (le laser de stimulation) tandis que ses voisins restent dans l'ombre, éteints par le laser d'éteuffement. Cette brève illumination assouvit les désirs de gloire du point – et tant pis

s'il est aussitôt éteint par le laser d'éteuffement. Chacun son tour. Puis l'ordinateur se charge de compiler les données pour reconstituer l'image de la minuscule protéine au moyen de tous les points qui la constituent.

**AUTRES LAURÉATS** du même prix Nobel : Eric Betzig et William Moerner pour leur technique dite de « microscopie monomoléculaire ». Eux ont décidé d'éclairer la protéine marquée avec de courtes stimulations répétées inlassablement. Très peu de points sont ainsi illuminés à la fois. Les taches qu'ils forment ainsi sont si éloignées qu'elles ne peuvent pas entrer en conflit, quelles que soient leurs motivations guerrières. Une série d'images est prise et, comme précédemment, l'ordinateur compile, et basta. ●

D.D.

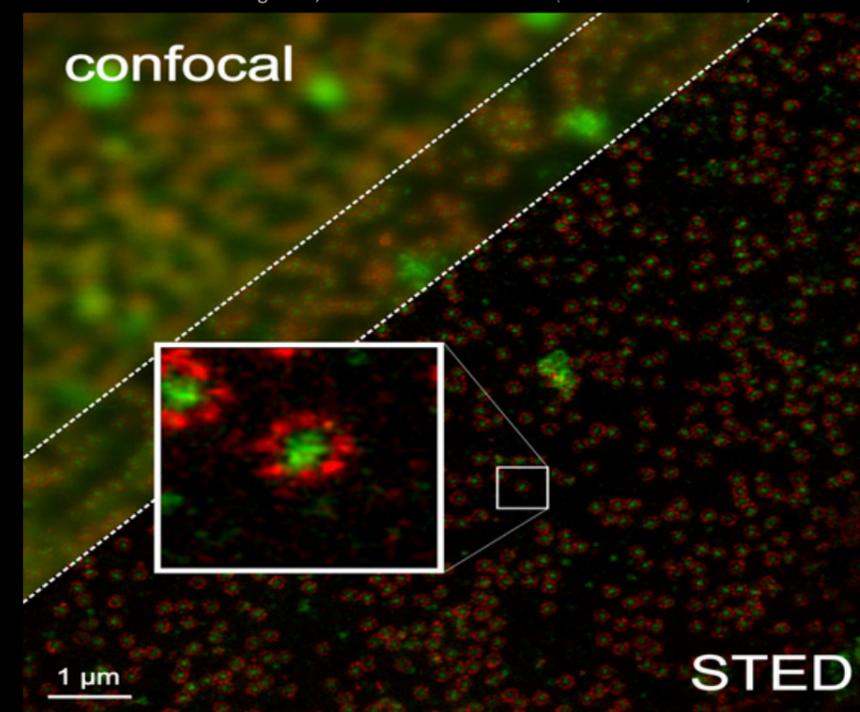
MISE EN IMAGES par le docteur Wang :



#### SOURCES :

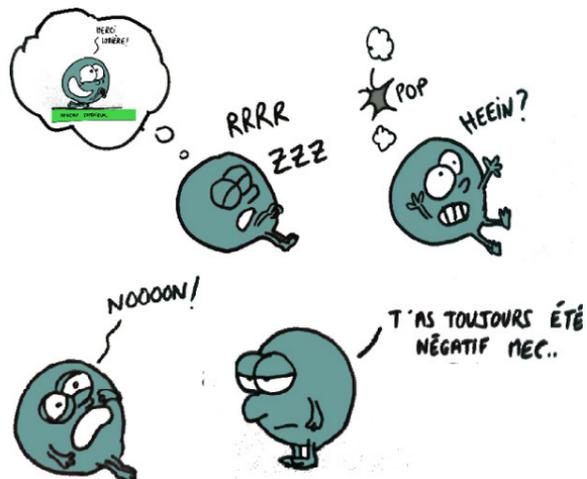
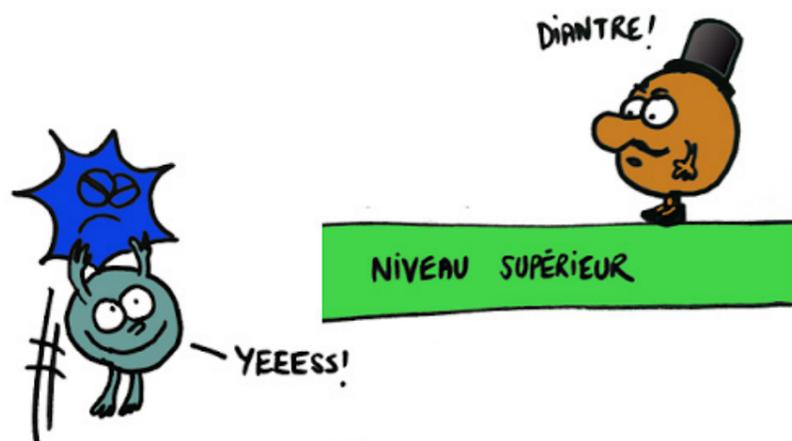
- Le Monde Sciences
- Futura Sciences
- Wikipédia

▼ « Je mesure moins de 0,2 μm » aurait dit le point vert mis en lumière.  
« Dans ta gueule, Abbe » aurait dit un autre. (Wikimedia Commons)





NIVEAU SUPÉRIEUR



# Qu'est-ce que la lumière ?



# Les rayons Gamma



Voir aussi le consortium des laboratoires de recherche en Provence Alpes Côte d'Azur :



# La lumière, source de la physique

LA LUMIÈRE EST À L'ORIGINE DE DEUX DES PLUS GRANDES RÉVOLUTIONS FONDAMENTALES DE LA PHYSIQUE : LA PHYSIQUE QUANTIQUE ET LA RELATIVITÉ.

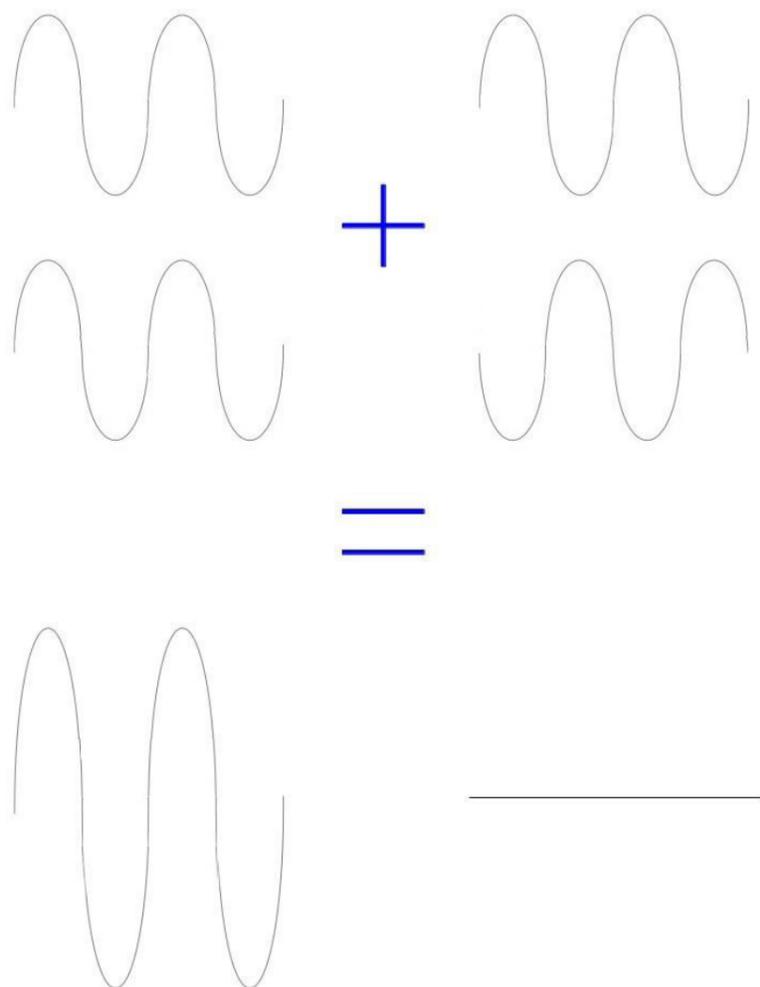
**L**ES SCIENTIFIQUES sont curieux et la lumière, bien mystérieuse, leur a posé de nombreuses questions.

**D'ABORD SUR SON SENS.** Ils ont fini par se mettre d'accord que la lumière allait effectivement de l'objet à l'œil qui l'interprétait, et non l'inverse...

**ILS SE SONT ENSUITE** interrogés sur la nature de la lumière. L'équipe du hollandais Christian Huygens pensait que la lumière était une onde, quelque chose de diffus et continu. Elle le prouvait facilement avec des expériences d'interférences. Indubitable.

**MAIS ISAAC NEWTON** et ses collègues pensaient que la lumière avait une nature corpusculaire. Qu'elle était formée de particules ponctuelles qui transfèrent de l'énergie à la matière à chaque interaction de la lumière avec un objet. Einstein était de ceux-là et ses travaux sur cette propriété de transfert d'énergie, appelée "effet photoélectrique", lui valurent le prix Nobel en 1921.

**LES DEUX CAMPS** avaient donc des arguments qui se tenaient... Il fallut attendre Niels Bohr et 1927 pour mettre tout le monde d'accord. La lumière n'est ni une onde ni une particule : elle est les deux à la fois ! Ou plutôt elle se comporte selon les situations comme une onde ou comme des particules. Ainsi, avant de s'intéresser à la matière, la physique quantique s'est d'abord appliquée à résoudre ce grand débat sur la lumière. Les échanges d'énergie entre matière et lumière se font entre les photons de la lumière et les particules de matière, en particulier les électrons. Et ils se font selon des valeurs précises, des paquets d'énergie appelés quanta, qui donnèrent son nom à la physique quantique qui étudie ces échanges et les particules impliquées.



**Les interférences**

Considérons la lumière sous forme d'onde, une sorte de vague avec ses creux et ses bosses. Lorsque deux ondes lumineuses de même intensité se rencontrent, il peut arriver qu'une bosse de la première vague se superpose exactement à un creux de la seconde : la lumière s'annule alors. Ainsi, lorsque l'on éclaire avec deux sources lumineuses, la lumière n'est pas forcément plus forte mais elle peut diminuer par endroit. C'est ce phénomène qui est appelé « interférence ».

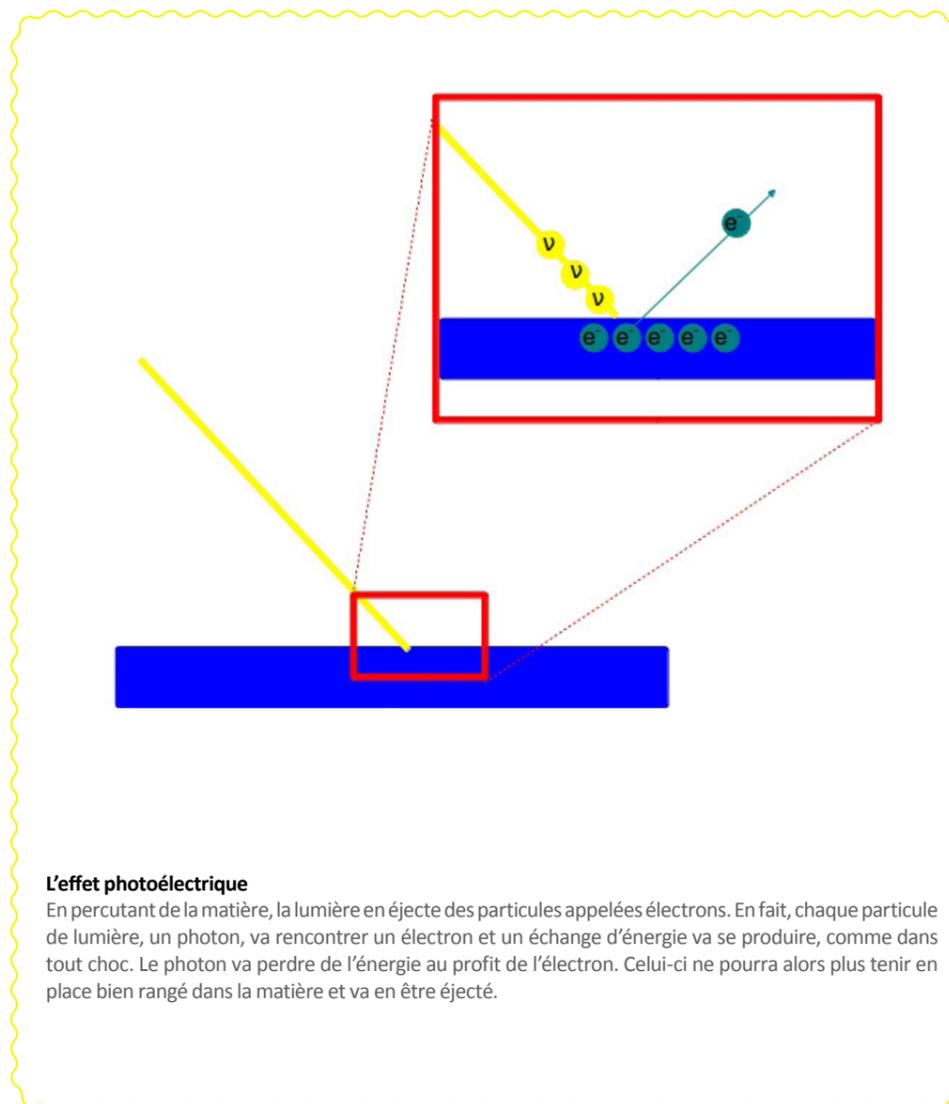
**UNE FOIS SON SENS** et sa nature établis, la lumière a encore fait parler d'elle à propos de sa vitesse. Lorsque vous êtes dans un train qui circule à 200 km/h et que vous vous déplacez à 10 km/h vers l'avant du train, un observateur extérieur vous voit avancer à 200+10 = 210 km/h. Si vous vous déplacez dans le train mais à contre-sens de celui-ci, l'observateur vous verra bouger à 190 km/h. C'est la loi de composition des vitesses. Elle est valable pour vous dans un train, pour

une fléchette que vous lanceriez sur le pont d'un bateau et pour n'importe quel objet dans un environnement en mouvement. Sauf pour la lumière. Elle, elle a une vitesse tout à fait constante, d'environ 300 000 km/s, pour n'importe quel observateur (dans n'importe quel « référentiel »).

**CETTE NOTION** est à la base de la relativité, restreinte et générale, d'Einstein, dont on fête respectivement les 110 et 100 ans cette année.

**RELATIVITÉ ET PHYSIQUE QUANTIQUE** sont ainsi filles de la lumière. L'une s'intéresse à l'univers tout entier, l'autre en scrute les plus petits détails. Et c'est le lien entre les deux qui intrigue à présent les chercheurs. La réponse se trouve-t-elle encore dans l'étude de cet objet si particulier qu'est la lumière ? ●

S.F.



**L'effet photoélectrique**

En percutant de la matière, la lumière en éjecte des particules appelées électrons. En fait, chaque particule de lumière, un photon, va rencontrer un électron et un échange d'énergie va se produire, comme dans tout choc. Le photon va perdre de l'énergie au profit de l'électron. Celui-ci ne pourra alors plus tenir en place bien rangé dans la matière et va en être éjecté.

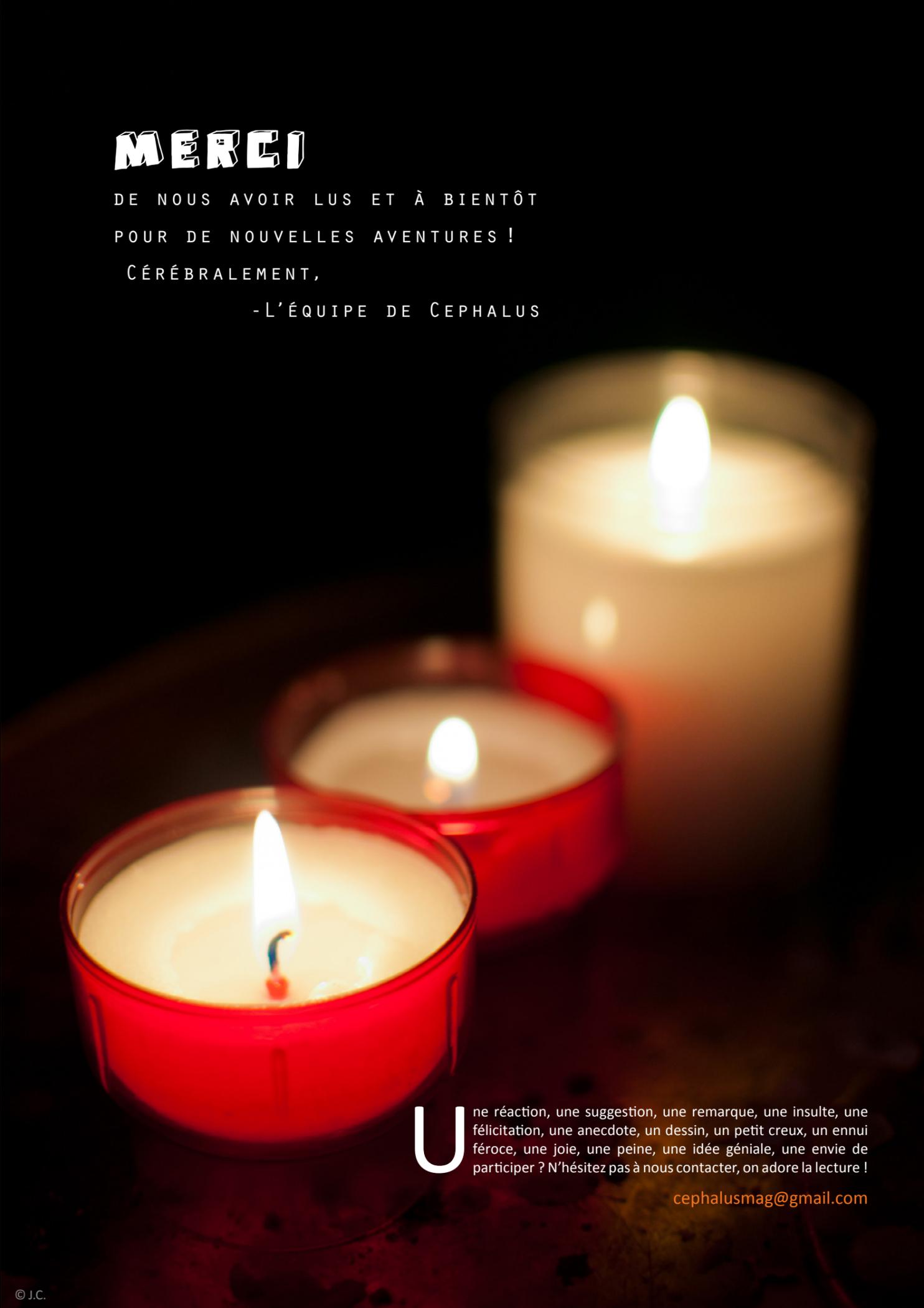


# MERCI

DE NOUS AVOIR LUS ET À BIENTÔT  
POUR DE NOUVELLES AVENTURES !

CÉRÉBRALEMENT,

- L'ÉQUIPE DE CEPHALUS



[WWW.CEPHALUSMAG.FR](http://WWW.CEPHALUSMAG.FR)



[@CEPHALUSMAG](https://twitter.com/CEPHALUSMAG)



[WWW.FACEBOOK.COM/CEPHALUSMAG](https://WWW.FACEBOOK.COM/CEPHALUSMAG)



[CEPHALUSMAG@GMAIL.COM](mailto:CEPHALUSMAG@GMAIL.COM)

Une réaction, une suggestion, une remarque, une insulte, une félicitation, une anecdote, un dessin, un petit creux, un ennui féroce, une joie, une peine, une idée géniale, une envie de participer ? N'hésitez pas à nous contacter, on adore la lecture !

[cephalusmag@gmail.com](mailto:cephalusmag@gmail.com)