

La nuit

comme vous ne l'avez jamais vue

Minuit, l'heure du crime ?

Prédateurs : comment ils chassent

Travail de nuit : la santé menacée

Comment vivre sans voir le jour ?

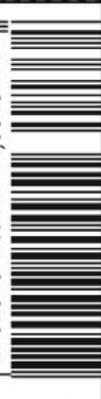
Sommeil : les secrets d'une bonne nuit

La nuit aiguise-t-elle nos sens ?

Pourquoi avons-nous peur dans le noir ?

Les nuisances des lumières de la ville

Le mystère des nuages noctiluques





NUIT

EXPOSITION

Jardin des Plantes
12 fév. — 3 nov. 2014

Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, Paris 5^e

NUIT.MNHN.FR



TROIS



ANOUS PARIS



LE FIGARO

Europe 1

Une publication du groupe



Président: Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX
Tél.: 01 41 33 50 00 - Fax: 01 46 48 48 67
DIRECTEUR DE LA RÉDACTION: Matthieu Villiers,
ASSISTÉ DE Christelle Borelli
RÉDACTRICE EN CHEF ADJOINTE: Cécile Bonneau
DIRECTRICE ARTISTIQUE: Yvonne Diraison
RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT (ÉDITION): Grégoire Bouillier
SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE LA RÉDACTION: Jean-Luc Glock
PREMIÈRE SECRÉTAIRE DE RÉDACTION: Anouk Delport
SECRÉTAIRE DE RÉDACTION: Catherine Capdeville
PREMIER MAQUETTISTE: Jean-Michel Sabatié
SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE: Emmanuel Jullien (chef de service
infographie), Clémence Gérard (photo)
DOCUMENTATION: Marie-Anne Guffroy (chef de service)
SERVICE LECTEURS: sev.lecteurs@mondadori.fr

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO:

Lise Barnéoud, Boris Bellanger, Kheira Bettayeb,
Pierre-Yves Bocquet, Emmanuelle Chartier,
Denis Delbecq, Simon Devos, Lise Gougis,
Mathieu Grousson, David Humbert, Román Ikonikoff,
Miko Kontente, Olivier Lapirot, Coraline Loiseau,
Marie-Catherine Mérat, Benoît Rey, Michel Saemann

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE: Carole Fagot
DIRECTEUR DÉLÉGUÉ: Vincent Cousin

DIFFUSION

SITE: www.vendezplus.com
DIRECTEUR DIFFUSION: Jean-Charles Guéroult
RESPONSABLE DIFFUSION MARCHÉ: Siham Daassa

MARKETING

RESPONSABLE MARKETING: Sandra Boixel
CHARGÉE DE PROMOTION: Michèle Guillet
ABONNEMENTS: Nathalie Carrère

PUBLICITÉ

DIRECTRICE EXÉCUTIVE: Valérie Camy
DIRECTRICE DE GROUPE COMMERCIAL: Caroline Soret
DIRECTRICE DE PUBLICITÉ ADJOINTE: Virginie Commun
DIRECTEUR DE CLIENTÈLE: Lionel Dufour
PLANNING: Stéphanie Guillard, Angélique Consoi,
Sabrina Rossi-Djenedi
ASSISTANTE DE PUBLICITÉ: Christine Chesse
RESPONSABLE TECHNIQUE: Stéphane Durand
OPS: Jean-Jacques Bénézech, Grégory Gounse,
Anne-Sophie Chauvière
TÉL.: 01 41 33 51 16; fax: 01 33 50 34

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Nadine Chattry (CHEFS DE FABRICATION)

DIRECTEUR ADMINISTRATIF ET FINANCIER

Hervé Godard

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR

Mondadori Magazines France
Siège social: 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION: Carmine Perna
ACTIONNAIRE: Mondadori France SAS
IMPRIMEUR: Elcograf - Italie
N° ISSN: 0151-0282
N° de commission paritaire: 1015 K 79977
Dépôt légal mars 2014

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail: relations.clients@mondadori.fr;
par téléphone: 01 46 48 48 96 (de 8 h à 20 h du lundi
au samedi); par courrier: Science & Vie Abonnements, B341,
60643 Chantilly Cedex. Par Internet: www.kiosquemag.com
États-Unis et Canada: Express Mag, 8155, rue Larrey,
Anjou (Québec), H1J 2L5. Tél.: 1 800 363-1310
(français) et 1 877 363-1310 (anglais); fax: (514) 355-3332.
Suisse: Edigroup Suisse, 022 860 84 50
mondadori-suisse@edigroup.ch
Belgique: Edigroup Belgique, 070 233 304
mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays: nous consulter.
Commande d'anciens numéros et de reliures:
tél. 01 46 48 48 97 - relations.clients@mondadori.fr



Ce que la nuit révèle

Et si la journée nous aveuglait ? Si elle nous empêchait de voir l'essentiel ? Quand, tous les soirs, le soleil disparaît derrière l'horizon, c'est tout un autre monde qui émerge et s'installe. Sans que nous prenions la peine de le regarder. Le ciel, d'abord, débarrassé du filtre opaque de l'atmosphère illuminée, révèle un spectacle étourdissant de beauté, dévoilant subtilement toute la profondeur de l'Univers. La nature, ensuite, exhibe une face cachée, une vie foisonnante qui profite de ce doux moment d'ombre, après la fureur du jour, pour s'animer. Et dans notre corps qui semble s'éteindre, ce sont une foule de mystérieux processus qui se mettent en place, desquels dépend toute la santé de l'organisme. Quant aux rêves, aux cauchemars et même simplement aux peurs qui nous submergent dans la nuit, ils trahissent nos terreurs profondes, témoins de nos pensées inconscientes aussi bien que de nos racines ancestrales... Si nous ne prenons pas garde à tout ce que la nuit révèle du monde et de nous-mêmes, les scientifiques, eux, sont partis l'étudier dans toutes ses dimensions. Belle, sauvage, dangereuse, opaque, foisonnante, vitale, et inépuisable d'enseignements. Suivons-les dans cette exploration.

S&V - HS

LA NATURE DE LA NUIT

8 Les 1001 nuits de l'Univers

Il existe dans l'Univers autant de nuits que de systèmes planétaires !

16 L'énigme des nuages noctiluques

Visibles en début et en fin de nuit, ces nuages irisés seraient dus au réchauffement climatique.

20 Questions/Réponses

LES PEUPLES DE LA NUIT

28 Le secret des espèces qui vivent la nuit

Petit inventaire des sens extraordinaires de la faune nocturne.

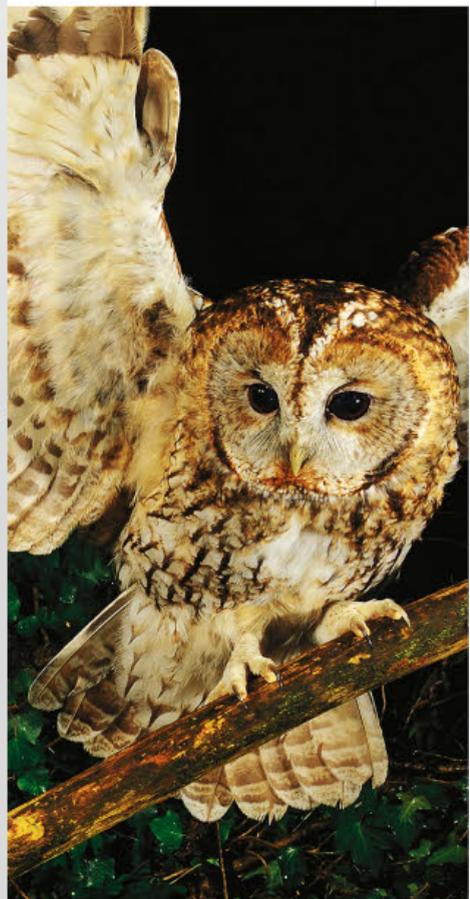
40 Un discret rendez-vous avec la nuit

Méconnue, la vie nocturne des plantes est pourtant riche de mécanismes essentiels à leur croissance.

46 Quand la vie ne voit jamais le jour

Au fond des océans et des grottes existent des écosystèmes spécialement adaptés à l'obscurité.

54 Questions/Réponses



Recevez Science & Vie et ses Hors-Série

Vos bulletins d'abonnement se trouvent en p. 57. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com.

Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08 ou par Internet sur www.kiosquemag.com

Image couverture : Thierry Cohen, courtesy galerie Esther Woerdehoff, Paris. De la série « Villes éteintes », éd. Marval. Sao Paulo 23° 32' 48" S 2011-06-05 1st 13:55



LES LUMIÈRES DE LA NUIT

100 Alerte à la pollution lumineuse

L'éclairage artificiel gêne l'observation du ciel, et perturbe les animaux... comme les hommes.

110 Voir comme en plein jour

Si notre œil est peu adapté à l'obscurité, les technologies thermiques ou amplificatrices de lumière viennent aujourd'hui pallier cette déficience.

116 Questions/Réponses

LA BIOLOGIE DE LA NUIT

60 Anatomie d'une bonne nuit

Pendant le sommeil, le cerveau orchestre des processus vitaux.

68 La santé mise à rude épreuve

Travailler la nuit augmente les risques de pathologies graves.

76 La nuit aiguise-t-elle nos sens ?

Des expériences étonnantes nous renseignent sur la synergie qui s'opère entre nos 5 sens.

81 Questions/Réponses

LES DANGERS DE LA NUIT

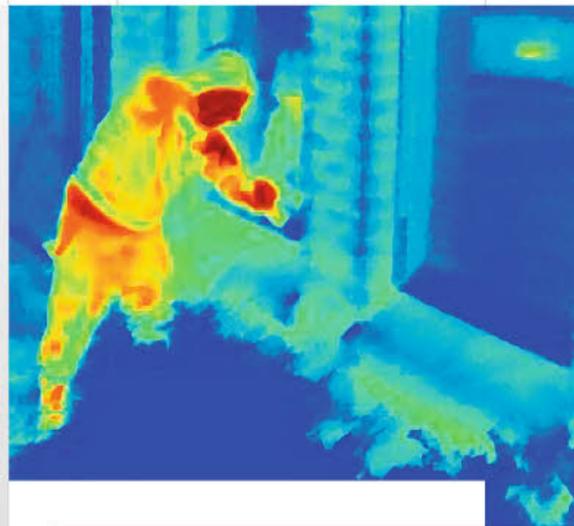
86 Une peur du noir inscrite dans les gènes

Présente dans toutes les cultures, elle serait l'héritage de la crainte ancestrale des prédateurs, due à notre piètre vue nocturne.

92 Minuit, l'heure du crime ?

Avec l'obscurité, la sensation de danger augmente. Mais l'insécurité est-elle réellement plus grande la nuit que le jour ?

96 Questions/Réponses



122 L'Univers. Histoire d'une nuit sans fin

Né dans l'obscurité, l'Univers y retournera. Récit d'une longue nuit cosmique entrecoupée de rares instants de lumière.



PLANÈTES, SOLEIL, LUMIÈRE

LA NATURE DE LA NUIT

8

Les 1001 nuits de l'Univers.

Il existe autant de nuits différentes que d'étoiles dans l'Univers.

16

L'énigme des nuages noctiluques. Apparus à la fin du XIX^e siècle, ces nuages irisés visibles au crépuscule seraient dus à la révolution industrielle.

20

Questions | Réponses

Pourquoi le ciel n'est-il pas saturé d'étoiles ? Pourquoi la Lune est-elle parfois beaucoup plus grosse dans le ciel ? Le rayon vert existe-t-il vraiment ? Etc.



LES MILLE ET UNE NUITS DE L'UNIVERS

La nuit est une notion toute relative. Sur Terre, elle nous ouvre les portes de l'infini. Sur Vénus, le Soleil se couche à l'est. Titan bénéficie d'un magnifique croissant de Saturne. Et les nuits extrasolaires sont à inventer...

PAR ROMÁN IKONICOFF

Il est 22h. C'est le début d'une belle nuit d'été. Dans la ville, les façades orangées se détachent sur un ciel bleu saphir, électrique, intense. Une à une, les fenêtres des immeubles s'allument à mesure que l'agitation urbaine s'apaise. Dans la campagne, les derniers feux du soleil couchant font encore rougir l'horizon. Une agréable fraîcheur s'installe. La planète Vénus brille déjà depuis quelques heures, à côté d'un fin croissant de lune. Les étoiles se mettent à leur tour à scintiller, dessinant des constellations familières. Plus tard dans la nuit, la Voie lactée tracera timidement son chemin lumineux au milieu du ciel virant à l'encre noire. Les animaux nocturnes vaqueront alors à leurs mystérieuses occupations, pendant que la majorité des humains plongera dans le sommeil. Mais immanquablement, quelques-uns d'entre nous resteront



< L'Univers offre un somptueux spectacle nocturne à la Terre. Dans de bonnes conditions (ici, dans les Alpes italiennes), on peut même voir l'air, devenu phosphorescent, former des traînées vertes.

éveillés pour tourner un instant leurs yeux vers le ciel. Et se laisseront probablement gagner par l'émotion sans pareille qu'offre la nuit en nous ouvrant les portes de l'infini. En même temps qu'il nous fait prendre la mesure de notre incroyable insignifiance, ce spectacle nous laisse entrevoir la mécanique céleste, parfaitement réglée, qui rythme l'activité terrestre depuis des milliards d'années en alternant les jours et les nuits.

UN CYCLE QUI RÉGIT LA VIE TERRESTRE

Car le mouvement de rotation planétaire qui gouverne cette alternance ne produit pas qu'un spectacle époustouflant. Loin s'en faut. C'est lui qui engendre les vents et les courants marins. C'est lui qui, en faisant varier la quantité de lumière reçue, fait circuler l'énergie sur la planète, la transformant

en véritable moteur thermodynamique. C'est lui enfin qui organise la vie terrestre, au point que le cycle diurne de 24 heures s'est gravé dans l'ADN de la plupart des espèces, plantes et animaux.

Mais ce phénomène, immuable à notre échelle, n'a pas toujours été égal : l'étude des cercles de croissance des coraux fossiles montre que la nuit, comme le jour, n'a cessé de s'allonger. Une nuit et un jour duraient environ 21 heures il y a 500 millions d'années. Parce que la Terre tournait plus vite à l'époque autour de son axe de rotation (une vitesse au sol de 1883 km/h contre 1674 km/h aujourd'hui). En revanche, sa révolution autour du Soleil, laquelle détermine la durée de l'année, n'a pas varié depuis très longtemps. L'année comptait donc 417 jours et nuits il y a 500 millions d'années. Ce ralentissement constant de la rotation terrestre, lié à des

frottements gravitationnels avec le Soleil, signifie qu'en principe le cycle diurne devrait finir par... complètement disparaître ! À terme, il fera toujours nuit sur l'une des faces du globe – par exemple sur le continent américain – et jour sur l'autre. La Terre présentera invariablement la même face au Soleil, à l'instar de la Lune vis-à-vis de la Terre. Dès lors, il ne restera du cycle diurne que la composante spatiale. Pour admirer le crépuscule puis la voûte étoilée, il faudra se déplacer vers l'est ou vers l'ouest, et franchir la frontière, devenue géographique, séparant la nuit du jour. Le globe aura atteint son stade dit de rotation synchrone.

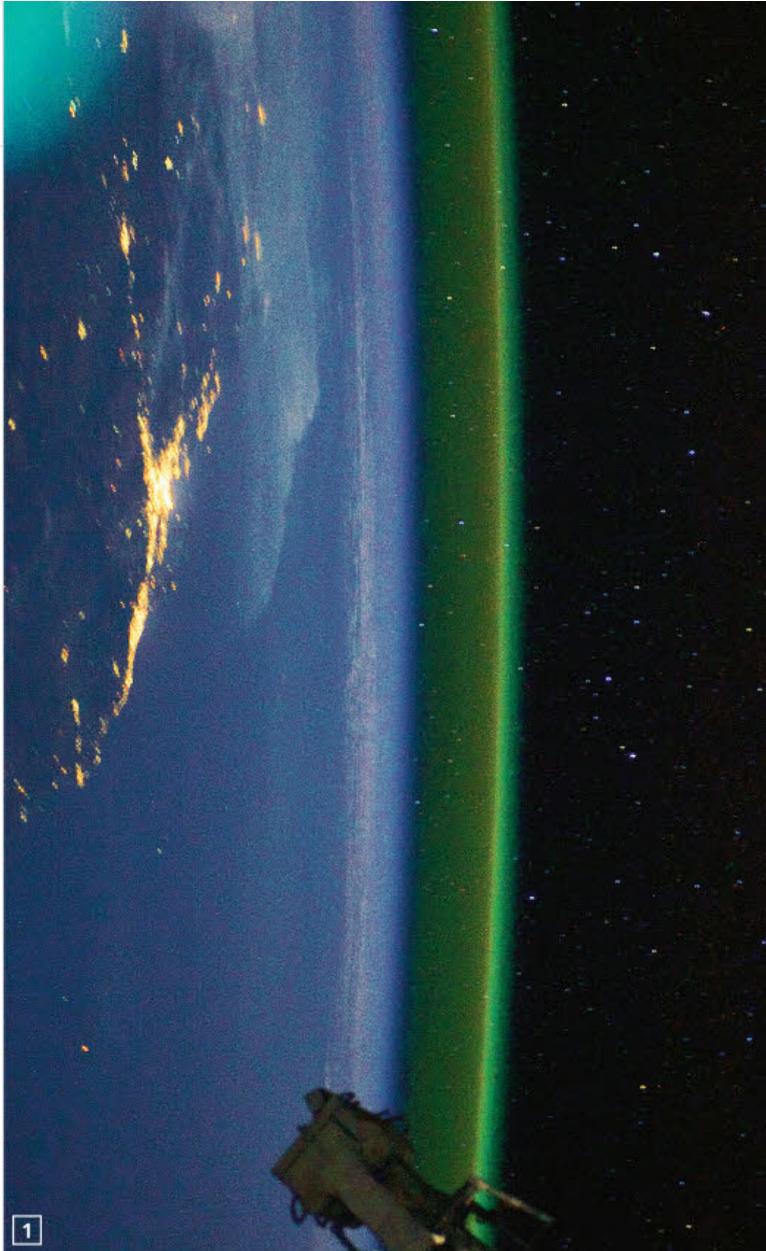
UNE NUIT JAMAIS VRAIMENT NOIRE

L'échéance de cette agonie de nos nuits est prévisible : les mesures astronomiques établissent que le cycle jour/nuit s'allonge en moyenne de 1,7 milliardième de seconde par an. Aussi, la Terre devrait devenir synchrone dans... 18 500 milliards d'années ! « *Cela n'arrivera donc jamais*, tranche François Colas, astronome à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides de l'Observatoire de Paris (IMCCE-OBSPM), *car le Soleil nous aura englouti depuis longtemps !* » De fait, les calculs établissent que notre étoile va se mettre à gonfler dans environ 5 milliards d'années, avant d'éjecter une partie de sa matière et de s'éteindre en naine blanche. Néanmoins, le destin virtuel des nuits terrestres illustre qu'à l'échelle astronomique, le cycle diurne est un phénomène plus variable que ne semble l'indiquer l'apparente inamovibilité de son rythme actuel de 24 heures.

Pour l'heure, toutefois, la rotation de la Terre sur elle-même nous permet de profiter, en un même lieu, de jours clairs suivis de nuits noires. Noires ? Pas vraiment. « *Dans l'Univers, la nuit n'est jamais totalement obscure*, note François Colas de l'Observatoire de Paris. *Il y a toujours des sources lumineuses.* » En l'absence de la Lune, la principale clarté qui atteint la

Si la Terre existait encore dans 18 500 milliards d'années, une de ses faces serait toujours dans la nuit, et l'autre, dans le jour

Terre vient bien sûr des étoiles. Dans des conditions idéales, qui sont rarement réunies aujourd'hui (voir p. 100), on en distingue des milliers à l'œil nu. Si elle n'étonne aucun observateur, la lumière des étoiles a toutefois posé question aux scientifiques, qui se sont longuement demandé... pourquoi elle était si faible ! Pourquoi le ciel tout entier n'est-il pas rendu brillant par la profusion des étoiles qui le peuplent ? Baptisée



paradoxe d'Olbers au XVIII^e siècle, cette question ne fut résolue qu'au XX^e (voir p. 20).

Mais il n'y a pas que la Lune et les étoiles... Autre facteur d'éclaircissement des nuits, la lumière zodiacale est moins facile à percevoir, surtout en ville. Cette bande de lumière très diffuse qui ceint la voûte céleste n'est rien d'autre que de la lumière

solaire reflétée par les poussières et petits corps flottant dans le plan du disque planétaire (ou éclip-tique). Résidus de l'ancien disque protostellaire de poussières ayant conduit à la formation du Soleil et de ses planètes il y a 4,6 milliards d'années, ces particules agissent comme des petits miroirs peu réfléchissants qui renvoient une faible fraction de lumière solaire sur la face terrestre non éclairée.



Qu'est-ce que la nuit ?

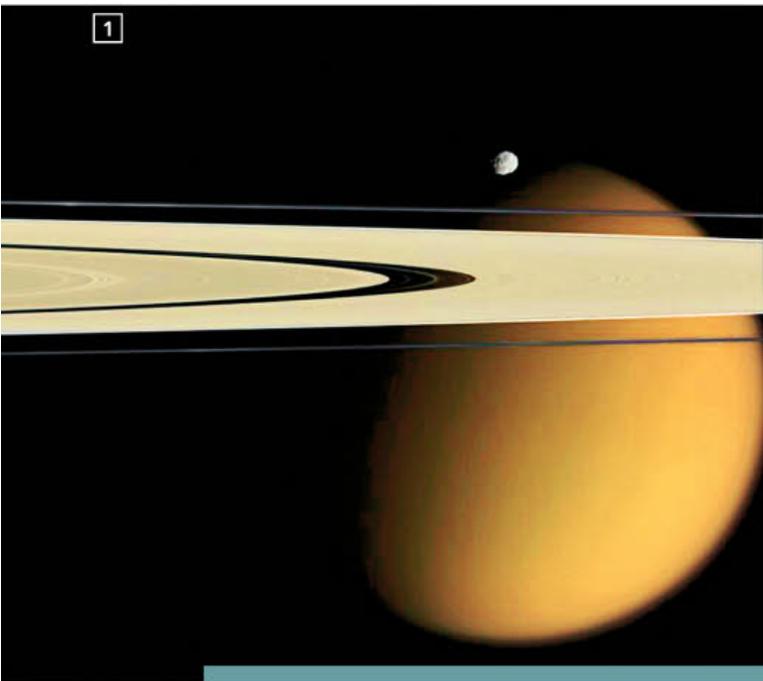
Comment définir la nuit ? D'un point de vue terrestre, elle est le temps qui s'écoule entre le coucher et le lever du soleil. Un temps aux contours indéfinissables, car variables au fil des saisons et des lieux. D'un point de vue spatial, celui des astronomes, la nuit est un lieu : elle est la moitié de la Terre tournant le dos au Soleil. C'est la rotation de la planète sur elle-même qui fait de la nuit une entité à la fois spatiale et temporelle... toute relative. D'un point de vue phénoménologique, la nuit se manifeste sur Terre par la transparence de l'atmosphère dévoilant un ciel rempli de milliers d'étoiles, la plupart concentrées dans la Voie lactée, notre galaxie vue par la tranche. Pour les fins observateurs, la voûte céleste s'éclaire aussi d'une irisation colorée en début de nuit, résultant d'un phénomène photochimique nommé *airglow* (1), et d'une traînée poussiéreuse issue de la réflexion du Soleil dans les poussières du disque planétaire (2).

Comme nous voyons le plan de l'écliptique par la tranche, cette lumière diffuse trace une ligne sur la voûte. « *Quand la nuit est sans nuages, ni Lune, ni pollution lumineuse artificielle*, explique François Colas, *on aperçoit sur la bande de lumière zodiacale une boule plus brillante, le gegenschein, située à l'exact opposé du Soleil (par rapport à la Terre). Elle est son image reflétée comme dans un rétroviseur très sale.* » Si dans le Système solaire la lumière zodiacale est ténue, elle peut être très forte dans les systèmes jeunes dont le disque stellaire est encore saturé de poussières.

La troisième source naturelle d'éclairage nocturne, réservée aux planètes à atmosphère comme la Terre, est l'*airglow*, ou luminescence de l'air. L'origine de ce phénomène est photochimique : « *Ce sont des molécules de l'atmosphère, principalement le sodium mais aussi l'oxygène et d'autres, qui par recombinaison chimique réémettent une partie de*

l'énergie solaire absorbée pendant le jour, précise François Colas. *C'est comme si nous vivions à l'intérieur d'une ampoule fluorescente.* » Cette lumière, présente également durant le jour mais invisible puisque noyée dans la lumière du Soleil, est à son maximum après le crépuscule. Elle décroît ensuite au cours de la nuit, avant que les molécules ne refassent le plein d'énergie au cours de la journée suivante. S'il faut se situer dans des endroits sombres très loin des villes pour l'apercevoir, son halo vert-jaune est bien visible depuis l'espace.

Ainsi sont les nuits terrestres. Le soleil se couche à l'ouest, le ciel noircit, s'illumine de reflets verts aux yeux des plus attentifs, se peuple de milliers



À chaque astre du Système solaire ses nuits

Éclairé par le Soleil, mais aussi par Saturne et ses anneaux, Titan (1) offre des spectacles surprenants lors des diverses phases de sa nuit très claire. L'épaisse atmosphère de Vénus (2), rebelle du Système solaire à la rotation rétrograde, ne permettrait pas à ses habitants de distinguer des étoiles. Alors que sur Mars (3) le coucher de soleil a un air familier...

d'étoiles, affiche la Voie lactée, et parfois la lumière zodiacale. À moins que la Lune, notre unique satellite naturel, ne vienne voler la vedette à tous ces éléments. Puis, au bout d'une douzaine d'heures en moyenne, à l'est, le Soleil revient diffuser sa chaleur.

UNE ROTATION CONTRE-NATURE

Mais ce bel enchaînement est un cas particulier dans l'Univers. Sur chaque planète, le tableau est différent. Certes, les lois de la physique ne changent pas de l'une à l'autre, mais leurs situations créent des scènes particulières pour chacune. Que les astronomes ne manquent pas d'observer... ou d'imaginer. Vénus, par exemple, offre tout près de nous (à moins de 42 millions de kilomètres de l'orbite terrestre) un cas tout à fait étonnant. La sœur jumelle de la Terre (avec 95 % du diamètre de notre planète et 80 % de sa masse) connaît des nuits diamétralement opposées. D'abord, note François Colas de l'Observatoire de Paris, « le Soleil se couche à l'est, car elle a une rotation rétrograde ». La cause de cette rotation contre-nature (c'est le seul cas parmi les huit planètes de notre système) n'est pas bien connue des astronomes. Car,

théoriquement, le sens de rotation des planètes et du Soleil est hérité de celui du nuage protostellaire qui, voici 4,6 milliards d'années, s'effectuait dans le sens horaire (pour un observateur fixe situé au-dessus du pôle Nord du disque). On pense donc qu'au cours de son histoire Vénus a inversé sa rotation, tout en conservant son sens de révolution autour du Soleil. Pourquoi? L'une des hypothèses est qu'un choc violent avec un corps très massif lors de la formation du Système solaire l'a forcée à tourner à l'envers. L'autre hypothèse est celle d'un effet de « marée gravitationnelle » s'exerçant sur son atmosphère à cause de son incroyable densité (92 fois celle de l'atmosphère terrestre). « Sous l'effet de l'attraction solaire, l'atmosphère d'une planète gonfle du côté éclairé et du côté sombre, et s'amincit entre les deux, à l'instar des marées océaniques terrestres sous l'influence de la Lune, indique François Colas. Ce gonflement, statique vu depuis le Soleil, agit comme un frein à la rotation du corps solide de la planète à cause du frottement entre l'air et la surface solide. » Ceci explique peut-être que, tout en étant rétrograde, la rotation est très lente : un cycle diurne vénusien dure

3



l'équivalent de 243 jours terrestres, alors que son année n'est que de 224,7 jours. La nuit sur Vénus dure donc plus d'une demi-année! Si tant est qu'on ait envie d'y poser un pied, la vue qu'offrirait le ciel depuis sa surface ne montrerait aucune étoile. Son épaisse atmosphère la rend extrêmement sombre et dominée par un rouge diffus émanant de la surface de la planète qui teinte le brouillard atmosphérique. Pour François Colas, « à cause de sa proximité avec le Soleil et d'un effet de serre très fort, le sol est chaud, très chaud (462 °C en moyenne) et rayonne comme un métal chauffé au rouge. » Invivable! La preuve : les sondes soviétiques *Vénéra 13* et *Vénéra 14* qui s'y sont posées en 1982 n'ont tenu que 127 minutes pour la première et 57 minutes pour la seconde. Bien trop court pour observer une scène nocturne!

La vue qu'offre le ciel depuis Vénus ne montre aucune étoile. L'atmosphère de la planète est bien trop épaisse

En revanche, un magnifique début de nuit a été photographié sur Mars par le rover Spirit qui a sillonné l'un de ses cratères entre 2004 et 2010. Le cliché de ce coucher de soleil a un air très familier. Il faut dire que sur la planète rouge, les nuits sont très semblables aux nôtres. Le Soleil se couche à l'ouest, au même rythme que sur Terre, pour réapparaître

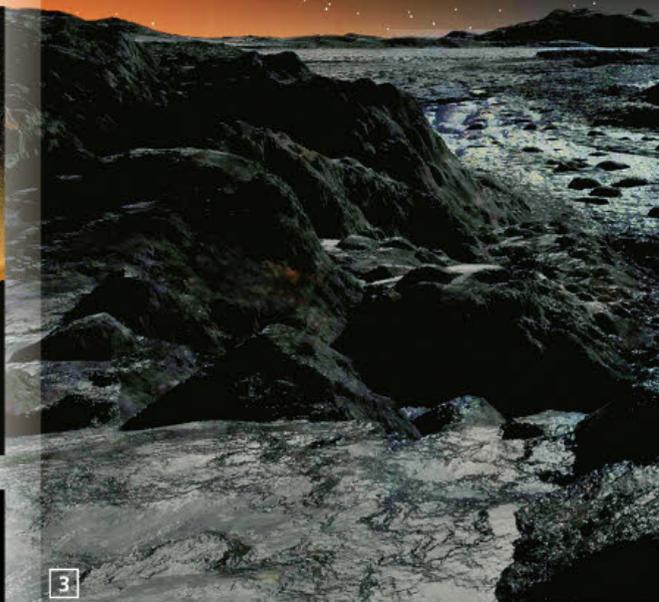
environ 12 heures et 20 minutes plus tard à l'est. Le ciel est rose pendant le crépuscule, sauf autour du Soleil, où il se teinte de bleu. Mais les nuits sont plutôt fraîches sur Mars. Sans océans pour stocker la chaleur ni d'atmosphère épaisse pour la retenir, il ne faut pas compter sur des températures plus chaudes que -60 °C sous les latitudes les plus clémentes, alors que les journées affichent parfois plus de zéro.

Plus exotiques, certaines lunes de planètes du Système solaire sont de véritables mondes dont les nuits doivent prendre des allures presque magiques.... C'est le cas de Titan, le plus gros des satellites de la géante gazeuse Saturne. Presque aussi grand que la Terre (81 % de son rayon), il remplit quasiment la totalité des conditions nécessaires à l'apparition de la vie : son épaisse atmosphère d'azote ressemblerait à celle de la Terre primitive. Or, selon François Colas, « Titan connaît des dégradés de nuits très complexes, car il est éclairé non

seulement par le Soleil, mais aussi par Saturne et ses anneaux ». Orbitant autour de Saturne en lui montrant toujours la même face, Titan est éclairé par le Soleil pendant 8 jours (terrestres) sur les 16 environ que dure sa révolution autour de la planète-hôte. Durant ces 8 jours, l'éclairement solaire se déplace à la surface de Titan, si bien qu'il connaît

Les nuits exotiques des exoplanètes

Depuis la découverte des exoplanètes, leurs nuits inspirent scientifiques et artistes, qui rivalisent d'inventivité dans leurs interprétations. Ici, une planète proche du centre de la Voie lactée (1). Là, un astre plongé dans une pénombre permanente car orbitant autour d'une naine rouge (2). Et là encore, un ciel emplit d'une énorme lune, sur une exoplanète appartenant à un système stellaire plus resserré que le nôtre (3).



dessinent des traits sur la voûte. » En effet, comme les anneaux de Saturne ne sont pas alignés avec le plan solaire, ils peuvent dans certaines configurations continuer à recevoir (et réfléchir) de la lumière solaire hors de l'ombre de la planète. Néanmoins, comme l'atmosphère de Titan est 45 % plus dense que la nôtre, les nuages et le brouillard n'offriraient que de rares occasions à un habitant des lieux de contempler ce ciel nocturne...

Quant aux exoplanètes qui peuplent l'Univers à des dizaines d'années-lumière de nous, on peut tout imaginer quant à leurs nuits. Ici, une voie lactée énorme, lumineuse, éclairant une exoplanète située non loin du centre galactique. Là, un ciel constellé de lunes énormes, toutes proches, dans un système stellaire plus resserré que le nôtre. Là encore, une planète plongée dans une quasi-nuit permanente, car orbitant autour d'une naine brune presque éteinte. Ailleurs, des compositions atmosphériques offrant des palettes de couleurs inédites.

Plus étonnantes encore, les nuits sur des planètes habitant les « systèmes binaires », c'est-à-dire possédant deux étoiles : « Leurs nuits sont

un cycle diurne partiel, avant d'entrer dans l'ombre de Saturne, plongeant tout entier dans une nuit de 8 jours terrestres. Saturne joue alors pour Titan le rôle de lune, qu'un habitant verrait former un gigantesque croissant encerclant presque toute la voûte. Tellement immense qu'on croirait pouvoir le toucher en tendant le bras ! Il disparaît cependant au bout de quelques heures, et Saturne se trouve alors exactement entre Titan et le Soleil. « Mais, même quand le Soleil est totalement occulté par Saturne, la nuit sur Titan est claire, ajoute François Colas. Il y fait quasiment jour à cause de la réflexion de la lumière solaire par les anneaux les plus brillants, qui



différentes selon que la planète orbite autour de l'un des deux astres ou autour des deux », explique Alain Lecavelier, astronome à l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP). Un premier cas est, par exemple, celui de la planète HD189733 b. Située à 63 années-lumière, elle orbite à seulement 5 millions de kilomètres (soit 1/30 de la distance Soleil-Terre) de son astre, HD189733, une naine orange dont la luminosité est de 1/3 de celle du Soleil.

Dans les systèmes binaires, les nuits diffèrent selon que la planète orbite autour de l'un des deux astres ou autour des deux

La planète est un « Jupiter chaud », une géante gazeuse de 1,2 fois la masse et le rayon de Jupiter, très proche de son étoile : son année ne dure que 53 heures ! « Si l'on pouvait s'y déplacer en montgolfière, sur la couche externe de gaz, les couleurs du crépuscule ressembleraient à celles de la Terre, commente l'astronome. Un ciel bleu avec un coucher de soleil principal rouge, car l'atmosphère possède des poussières de silicates qui diffusent la lumière bleue. » La planète est synchrone, mais

dans l'enveloppe gazeuse de très forts courants naissent du côté éclairé pour se diriger vers la face sombre. « Si on se laisse alors dériver, on ira naturellement vers le côté nuit, avant de plonger et de se perdre dans les couches profondes. » Or voilà, l'étoile de HD189733 b possède un compagnon stellaire nommé HD189733 B, situé à 216 fois la distance Terre-Soleil : une « naine rouge » d'une luminosité inférieure à 10 % de celle du Soleil. Selon Alain Lecavelier, « la configuration du système est telle que la planète passe toutes les 53 heures entre les deux étoiles. Le côté nuit aura ainsi deux versions qui alterneront toutes les 26 heures et 30 minutes (demi-année planétaire) : une nuit noire, quand la planète se trouve du côté opposé aux deux astres, et une nuit éclairée par le rouge du second astre, quand elle passe entre les deux. Vu du ciel nocturne de HD189733 b, l'astre secondaire ressemblera à une petite bille d'une luminosité plus forte que celle de la pleine lune, mais faible par rapport à l'éclairement solaire. »

UN « DUVET » DE NUAGE PROTOSTELLAIRE

Autre cas déroutant, celui de l'étoile Bêta Pictoris située à 63 années-lumière. Plus massive, grande et chaude que le Soleil, elle est âgée de 20 millions d'années. C'est donc un bébé comparé aux 4,6 milliards d'années de ce dernier ; elle est encore environnée de son « duvet » de nuage protostellaire : des comètes (boules de neige sale), des astéroïdes (roches), des planétésimaux (embryons de planète) et beaucoup, beaucoup de poussières issues du dégazage des comètes et des chocs entre astéroïdes. Au milieu de ce gigantesque brouillard en lévitation rotatoire évolue une planète bien formée, découverte en 2008 : Bêta Pictoris b. Gazeuse comme Jupiter, mais plus massive (4 à 11 fois sa masse), elle orbite à la même distance que Saturne du Soleil.

« La nuit, une bande de lumière zodiacale éclaire la face sombre avec une intensité équivalente à plusieurs fois la pleine lune, décrit Alain Lecavelier. Si la planète possède également des anneaux, ce qui est fort possible à cause de la densité de poussières du milieu, ceux-ci éclairent également sa face sombre comme des néons. » Une nuit magique, probablement assez semblable à celles de la Terre à sa naissance, mais vouée à perdre de sa superbe avec l'âge et la disparition du disque protostellaire. ●



L'ÉNIGME DES NUAGES NOCTILUQUES

Depuis 1885, des nuages irisés, qui n'apparaissent qu'au crépuscule, illuminent les nuits estivales polaires.

Un phénomène qui prend de plus en plus d'ampleur, mais dont les scientifiques peinent à prouver l'origine.

PAR BENOÎT REY

Certains phénomènes physiques ensorcellent nos ciels nocturnes. Et ont longtemps fasciné avant d'être décryptés. On sait aujourd'hui qu'une éclipse de Lune n'est rien d'autre qu'un parfait alignement astral. Et on n'ignore plus rien des champs magnétiques qui déclenchent les aurores balayant les ciels polaires de leurs incroyables lumières vertes. Mais il est un nouveau spectacle qui, depuis seulement un peu plus d'un siècle, magnifie les nuits terrestres sans que l'on parvienne à prouver quelle est sa cause. Aux pôles, durant l'été, au début et à la fin de la nuit, le ciel se pare d'un voile de dentelle blanche irisée, d'un drap de nuages brillants, très différents de nos cirrus, stratus et autres cumulonimbus. On les a baptisés nuages « noctulescents » ou « noctiluques » car, transparents le jour, ils n'apparaissent



< Observé plutôt aux pôles, le phénomène se produit aussi désormais sous des latitudes plus basses, comme ici au Danemark, en juillet 2010.

qu'au crépuscule, quand le Soleil les illumine par en dessous tout en laissant les couches inférieures de l'atmosphère plongées dans l'ombre de la Terre. Depuis 1885, chaque été, ils sont au rendez-vous.

DES NUAGES AUX PORTES DE L'ESPACE

Les avait-on ignorés auparavant ou est-ce un phénomène vraiment neuf? Quoi qu'il en soit, depuis leur première observation, ils sont chaque année plus nombreux. Ils apparaissent de plus en plus tôt dans la saison, sont de plus en plus brillants, et s'aventurent en dehors de leur territoire habituel, les pôles, vers des latitudes de plus en plus basses : le 14 juillet 2009, ils enluminaient le ciel de Paris, offrant une toile de fond inédite au traditionnel feu d'artifice!

Ce que les scientifiques ont constaté en premier lieu, c'est qu'ils sont bien plus haut perchés que les

nuages communs. Alors que ces derniers ne quittent jamais la troposphère (la zone de l'atmosphère comprise entre 0 et 15 km d'altitude), les méthodes de triangulation à la fin du XIX^e siècle révèlent que les nuages noctiluques naviguent jusqu'à 83 km de haut, aux portes de l'espace! Presque dans un autre univers, tant les conditions qui règnent là-haut sont extrêmes. La mésosphère (entre 50 et 80 km) est en effet le point le plus froid de la Terre, jusqu'à -150°C , et surtout le plus sec: 1 million de fois plus que le plus aride de nos déserts. C'est dans ce terreau bien peu fertile que germent ces nuages, dont les chercheurs tentent encore de comprendre les origines, la formation et l'évolution. Mais ce faisant, ils mettent le doigt dans un engrenage de causes et d'effets.

En 1990, Gary Thomas, professeur à l'université du Colorado, émit une hypothèse pour expliquer la

survenue récente de cette bizarrerie. Les responsables en seraient nos fameux gaz à effet de serre. « À l'époque, les carottes de glace prélevées en Arctique révélaient que la teneur de l'air en méthane avait doublé depuis l'ère industrielle, raconte-t-il. Parallèlement, on constatait que le méthane troposphérique pouvait facilement pénétrer dans les couches supérieures de l'atmosphère. Détruit par les rayons ultraviolets du soleil, il s'y transformerait en vapeur d'eau. » Pour le chercheur, le méthane devenait donc le suspect numéro un. Avec un complice : le dioxyde de carbone, qui confine le rayonnement infrarouge dans la basse atmosphère, et empêche la chaleur de s'échapper vers les couches supérieures. D'où ce paradoxe : le réchauffement climatique refroidit la mésosphère. Plus d'eau, ajouté à davantage de froid... l'idée a vite germé, dans les années 1990, que c'est au réchauffement climatique que l'on doit la prolifération des nuages noctiluques. Ils constitueraient même les tout premiers indicateurs de l'influence des activités humaines à des altitudes aussi élevées.

PAS DE PREUVES FORMELLES

Vingt ans ont passé et l'hypothèse ne fait plus guère de doute pour les chercheurs. Mais impossible de le prouver de façon formelle. « Comprendre l'effet du changement climatique sur l'atmosphère nécessiterait d'abord de comprendre l'atmosphère, justifie Gerd Baumgarten, de l'Institut Leibniz de physique atmosphérique, à Rostock, en Allemagne. Ça a l'air simple, mais c'est un système ultracomplexe influencé par un grand nombre de phénomènes différents. » Ses travaux actuels l'illustrent très bien : ils consistent à quantifier l'influence du trou de la couche d'ozone, situé en Antarctique, sur l'apparition des nuages noctulescents en Europe, à 15000 km de là ! Outre la complexité de l'atmosphère, la lenteur du

changement climatique embarrasse les chercheurs. Le signe éventuel de son influence sur l'apparition des nuages noctiluques se perd dans des phénomènes bien plus spectaculaires à très court terme. Ainsi, certaines éruptions volcaniques, comme celle du Pinatubo aux Philippines en 1991, sont si violentes qu'elles propulsent de la vapeur d'eau jusque dans la mésosphère, où les nuages foisonnent durant les deux années suivantes. Les nuages noctiluques ont donc probablement peuplé épisodiquement les nuits terrestres après de telles éruptions, bien avant l'ère industrielle. Le cycle de onze ans de l'activité solaire vient lui aussi perturber les courbes de progression de la quantité de nuages. Car lors du maximum d'activité solaire, les molécules d'eau de la mésosphère sont détruites. Celle-ci se réchauffe et s'assèche, et les nuages s'y font beaucoup plus rares. « Sauf justement au cours des deux dernières années, depuis lesquelles l'activité solaire a pourtant

SUR MARS, DES NUAGES ENCORE PLUS HAUTS

Les nuages mésosphériques existent aussi sur Mars ! Ils ont été observés pour la première fois par le rover de la mission Mars Pathfinder en 1997, et sont depuis étudiés à distance par une poignée de chercheurs, comme Anni Määttänen du Latmos, à Guyancourt. Selon elle, comme ceux de la Terre,

les nuages martiens se condensent sur de la poussière de météore. Mais l'atmosphère de Mars est très différente de la nôtre, et ces différences se retrouvent dans les caractéristiques des nuages. Ainsi, s'ils se forment, comme sur Terre, dans la zone la plus froide de la planète, celle-ci

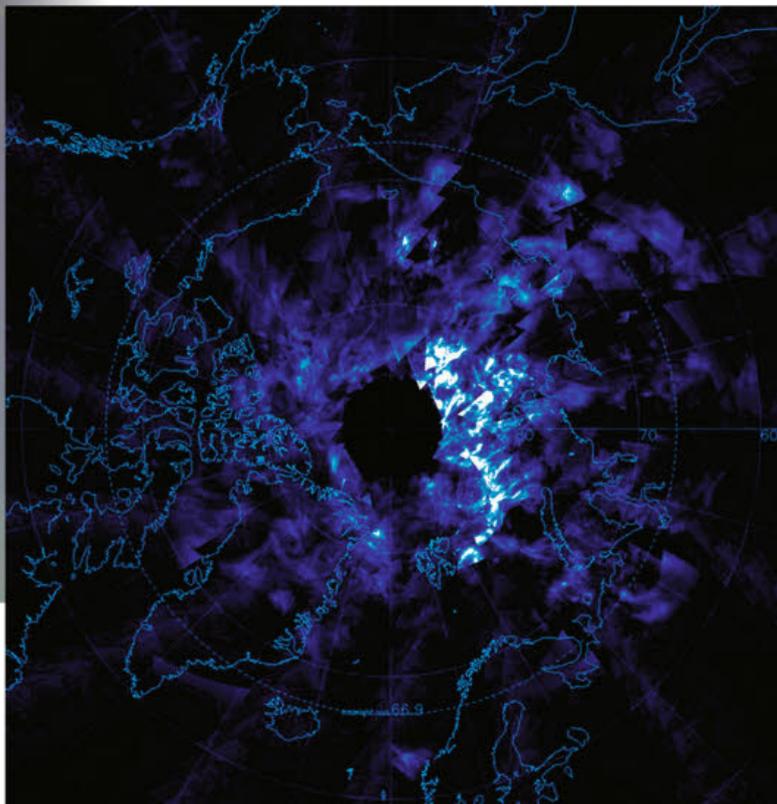


A En août 2006, des nuages évoluant à 100 km d'altitude ont été vus sur la planète rouge.



▲ Une des origines des nuages noctiluques serait le trafic spatial. Ici, après le lancement de la mission Phoenix Mars, le 4 août 2007.

> En 2007, le satellite AIM a réalisé les premières images de nuages noctiluques depuis l'espace et prouvé qu'ils se condensent sur la poussière de météorites.



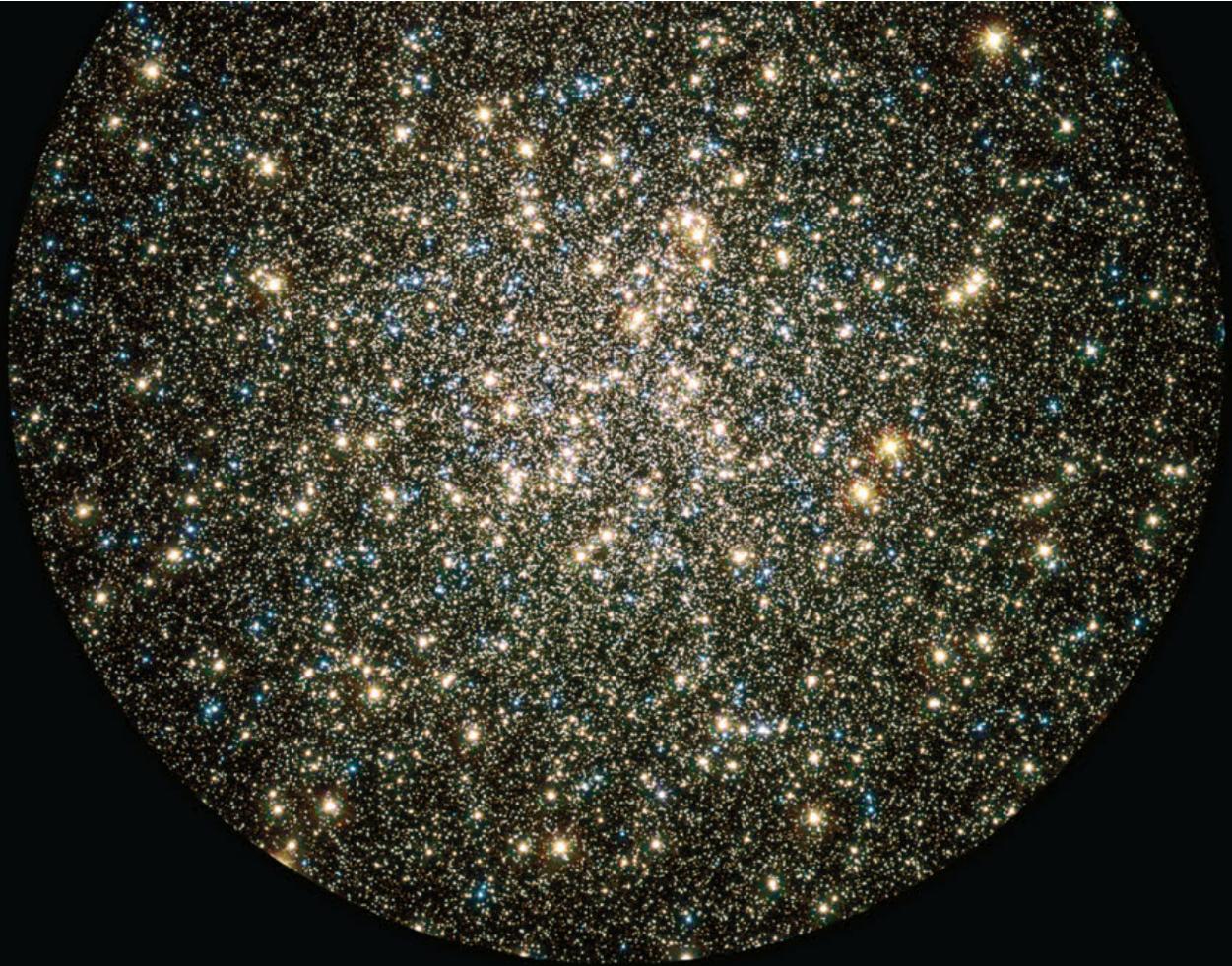
exceptionnellement augmenté », remarque David Siskind, du Laboratoire de recherche de la marine des États-Unis (NRL), à Washington. Selon lui, cette anomalie résulterait d'un autre phénomène : l'augmentation du trafic spatial, notamment celui des navettes américaines. Lancées depuis le Centre spatial Kennedy en Floride, elles auraient injecté des trombes de vapeur d'eau dans la mésosphère en la traversant de part en part, générant une recrudescence de nuages. Avant de déceler la trace du réchauffement climatique dans les relevés, et d'expliquer ainsi leur récente omniprésence, il faudrait donc soustraire chacun des phénomènes qui interviennent

ne se situe pas aux pôles, mais autour de l'équateur et aux moyennes latitudes. En outre, au lieu d'être confinés entre 80 et 86 km d'altitude, leur position varie entre 45 et 100 km. « Parfois ils projettent une ombre sur la surface de Mars, remarque la chercheuse. Cela nous indique qu'ils peuvent

être, contrairement aux nôtres, optiquement assez épais pour être observés depuis la surface pendant la journée. » Enfin, ils ne sont pas formés de cristaux de glace, mais de glace carbonique ! Et on peut parier que ce n'est pas l'activité humaine qui les fera proliférer. Tout du moins, pas tout de suite !

à court terme. C'est dans ce but que la Nasa a lancé, en 2007, le satellite AIM (pour Aeronomy of Ice in the Mesosphere). Pour la première fois, celui-ci a permis de dessiner des cartes de la répartition des nuages en temps réel. Avant lui, par exemple, on ne savait pas sur quel support matériel ils se condensent. Car la vapeur d'eau ne se change pas spontanément en particules de glace. Pour qu'un nuage se forme, elle a besoin de grains de poussière sur lesquels s'agglutiner. D'où vient donc la poussière de la mésosphère ? Il n'a fallu que quelques tours du monde à AIM pour répondre à cette question. Elle est d'origine extraterrestre, composée de résidus que les météorites abandonnent lors de leur chute sur Terre.

AIM a aussi mis en évidence une variation périodique de vingt-sept jours dans le comportement des nuages, qui correspond à la période de rotation du Soleil sur lui-même. Mais malgré ces avancées, toujours pas la moindre preuve définitive de l'influence du réchauffement climatique. « Pour cela, il faudra plus de temps », reconnaît Gary Thomas, qui souhaite que la mission d'AIM soit prolongée jusqu'en 2016, date à laquelle l'activité solaire sera à son maximum. Si son hypothèse du méthane s'avère juste, cela signifie que les nuages noctulescents ont pu n'apparaître qu'au XIX^e siècle. Qu'ils sont bien des enfants de la révolution industrielle. ●



Pourquoi le ciel n'est-il pas saturé d'étoiles ?

La question a obsédé les scientifiques au XIX^e siècle. Elle porte même un nom, celui de « paradoxe d'Olbers », du nom de l'astronome qui l'a popularisée en 1823. On croit en effet, à cette époque, que l'Univers est peuplé d'une infinité d'étoiles. Comment le fond du ciel peut-il alors devenir noir dès que le Soleil nous laisse en tête-à-tête avec les étoiles ? En visant dans n'importe quelle direction, on devrait tomber sur une étoile, et la voûte céleste devrait donc être aussi brillante que la surface du Soleil !

Même si l'on sait aujourd'hui que le nombre d'étoiles dans l'Univers n'est pas infini, sa dimension extravagante donne encore toute sa pertinence au paradoxe d'Olbers : on en

compte entre 100 et 400 milliards dans notre galaxie, la Voie lactée, et on pense que l'Univers observable contient quelque 500 milliards de galaxies ! Pourtant, derrière les quelques milliers d'étoiles que l'on distingue à l'œil nu, le fond de notre ciel reste bien totalement noir.

La toute première piste de réponse est venue non pas d'un scientifique, mais du poète américain Edgar Allan Poe. Selon ses écrits, « *la seule manière de rendre compte des vides que trouvent nos télescopes dans d'innombrables directions est de supposer cet arrière-plan invisible placé à une distance si prodigieuse qu'aucun rayon n'ait jamais pu parvenir jusqu'à nous* ». L'intuition du romancier fait intervenir

< Du fait de l'expansion de l'Univers, la lumière que les astres très lointains nous envoient est modifiée et devient invisible à nos yeux.

deux principes de physique : le premier est que la vitesse de la lumière est finie, le second que les astres ont une durée de vie limitée. Les étoiles les plus lointaines seraient donc si éloignées que leurs rayons n'auraient pas encore fini le voyage jusqu'à nos yeux. La solution de Poe est juste. Mais le XX^e siècle a apporté une réponse inattendue à la question d'Olbers.

UN RAYONNEMENT INVISIBLE

Cette réponse, c'est qu'en réalité, le ciel nocturne n'est pas noir ! Il brille intensément, en chacun de ses points, des traces de la naissance de l'Univers. En effet, la théorie du big bang a montré que l'Univers a eu un commencement il y a 13,8 milliards d'années. Or, 380 000 ans après cette naissance, une fabuleuse lumière se propageant dans toutes les directions fut émise le temps d'un éclair. Et en observant aujourd'hui n'importe quel point du ciel, on peut voir une empreinte de cette lumière : le fond diffus cosmologique. Seulement, il y a un hic. Ce rayonnement est invisible à notre œil : il ne se situe pas dans le domaine du visible, mais dans celui des micro-ondes. Ce décalage de fréquence est dû à une autre découverte majeure du début du XX^e siècle : l'expansion de l'Univers. Plus un objet de l'espace est éloigné, plus il s'écarte de nous à grande vitesse. Le tout premier rayonnement de l'Univers ne fait pas exception à cette règle. Or, lorsqu'un objet s'éloigne, la fréquence des ondes qu'il nous envoie est modifiée : c'est l'effet Doppler, celui-là même qui fait que le son de la sirène d'une ambulance devient de plus en plus grave à mesure qu'elle s'éloigne. Ainsi, le fond cosmologique, mais aussi les étoiles et galaxies très lointaines émettent de la lumière que notre œil n'est pas capable de voir.

Les étoiles ont une durée de vie limitée, la lumière a une vitesse finie, l'Univers a un commencement et il s'étend de plus en plus vite. Voici donc les vérités scientifiques qui expliquent pourquoi le ciel nous paraît noir... alors qu'en réalité, il brille. **S.D.**

D'où viennent les différences de couleur entre les astres ?

La couleur des étoiles révèle la température de leur surface, de 2 000 à 30 000 degrés environ : plus elles sont chaudes et plus elles sont bleutées. En effet, un objet froid émet un rayonnement infrarouge (invisible), qui devient rouge visible lorsqu'on chauffe l'objet (comme du fer passé au feu), puis jaune, et enfin bleu. **C.B.**

Pourquoi voit-on davantage d'étoiles filantes en août ?

Dans sa course régulière de un an autour du Soleil, la Terre traverse plusieurs nuages de poussières laissés par des comètes. Au mois d'août, celui des Perséides, constitué de débris de la comète Swift-Tuttle, se trouve sur son chemin. Ces débris brûlent au contact de l'atmosphère terrestre, donnant lieu à la plus belle pluie d'étoiles filantes estivale de l'hémisphère Nord. Mais le nuage des Léonides, traversé en novembre, fournit lui aussi un beau spectacle nocturne. **C.B.**

Combien d'étoiles déjà mortes brillent encore dans le ciel ?

Il est vrai que l'on peut théoriquement voir une étoile briller dans le ciel alors qu'elle est déjà morte, car sa lumière met du temps à nous atteindre. Par exemple, si Arcturus, l'étoile la plus brillante du ciel de l'hémisphère Nord, s'éteignait brutalement, on la verrait encore briller pendant près de trente-sept ans depuis la Terre, puisqu'elle se situe à près de 37 années-lumière de nous. De ce fait, on entend parfois dire que la plupart des étoiles que l'on voit dans le ciel sont déjà mortes. C'est faux ! Car les étoiles vivent extrêmement longtemps par rapport à nous : au moins dix millions d'années et jusqu'à cent milliards d'années. Il est donc très improbable qu'une des 3 000 étoiles qui peuplent la voûte céleste meure pendant la durée de vie de l'humanité. En revanche, les étoiles situées dans d'autres galaxies, à plusieurs millions d'années-lumière, que l'on observe au télescope sont, elles, en partie déjà mortes. **C.B.**

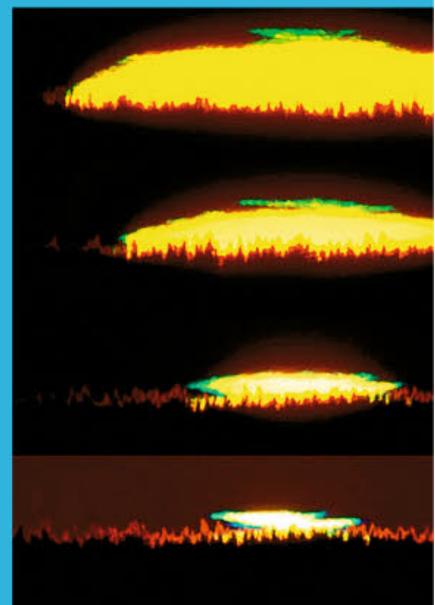


^ Il s'agit d'une illusion d'optique: plus la Lune est basse à l'horizon, et plus notre cerveau pense qu'elle est grosse.

Le rayon vert existe-t-il vraiment ?

Même si le phénomène nous échappe le plus souvent, la nuit commence (et se finit) bien ainsi : par un éclat vert qui illumine l'horizon, là où le Soleil disparaît ou apparaît. Il ne s'agit pas d'une illusion d'optique, mais d'un fait physique établi : l'atmosphère agit comme un prisme qui décompose la lumière en couleurs de l'arc-en-ciel. Au moment où le Soleil a déjà disparu, d'ultimes rayons verts et bleus passent ainsi encore au-dessus de l'horizon. La lumière bleue étant dispersée par l'oxygène de l'air, seul le vert reste vif. Mais les physiciens ne précisent pas si le phénomène porte vraiment bonheur à qui l'aperçoit !

C.B.



Pourquoi la Lune est-elle parfois beaucoup plus grosse dans le ciel ?

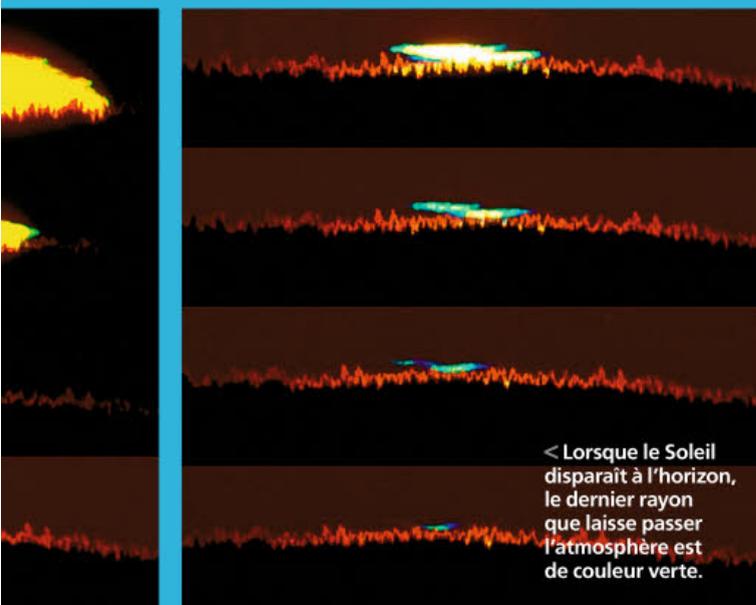
La Lune semble en effet changer de taille selon sa place dans le ciel. Nous la voyons plutôt petite lorsqu'elle est haute dans le ciel, et plus grosse, voire énorme lorsqu'elle vient frôler les reliefs de l'horizon. A-t-elle une trajectoire à ce point irrégulière autour de notre planète qu'elle s'en approche et s'en éloigne au cours de la nuit ? Certes, la Lune parcourt une orbite légèrement elliptique, qui la fait voyager entre 363 104 km et 405 696 km de nous. Soit une différence de 10 % environ... Pas suffisant pour rendre compte des différences de taille apparente de son diamètre. De surcroît, cette variation de distance ne se produit pas au cours d'une même nuit. Pourquoi alors, devient-elle géante lorsqu'elle se laisse chatouiller par

les clochers ? Une explication couramment entendue est qu'il s'agit d'un effet loupe de l'atmosphère, plus épaisse sur la ligne d'horizon. Il n'en est rien ! L'atmosphère exerce bien un effet, mais qui ne joue pas sur la taille de la Lune : en absorbant la lumière bleue, elle la rend simplement rousse lorsqu'elle est basse. Elle provoque également un léger aplatissement de l'astre, comme elle le fait aussi avec le Soleil couchant. Mais impossible de lui imputer un effet loupe grossissant !

En fait, les scientifiques ne sont pas certains de bien comprendre ce phénomène, mais ils ont une certitude : il s'agit d'une simple illusion d'optique. Et mis à part les 10 % de variation expliqués plus haut, le diamètre lunaire ne varie

pas. Pour s'en convaincre, il suffit de mesurer le diamètre de la Lune à l'aide d'une règle tenue à bout de bras, lorsqu'elle est basse sur l'horizon, puis quelques heures plus tard lorsqu'elle s'est élevée.

C'est donc dans notre cerveau que la Lune prend cette taille démesurée. Est-ce parce qu'en se rapprochant du paysage, elle se trouve comparée avec les objets de premier plan (arbres, bâtiments) qui nous induisent en erreur ? Ou est-ce parce que nous voyons le ciel comme un dôme légèrement aplati, qui fait que les objets situés à l'horizon sont censés être beaucoup plus loin de nous que ceux qui sont juste au-dessus ? Cela expliquerait que notre cerveau reconstruise cette image disproportionnée de notre satellite. C.B.



< Lorsque le Soleil disparaît à l'horizon, le dernier rayon que laisse passer l'atmosphère est de couleur verte.

Est-il vrai que la pleine lune empêche de dormir ?

Jusqu'à l'année dernière, on pensait qu'il ne s'agissait que d'une croyance populaire. Mais, désireux d'être fixés sur la question, des chercheurs suisses ont eu l'idée de reprendre les données d'une étude menée sur le sommeil dans un tout autre but, entre 2000 et 2003. À leur surprise, ils ont alors constaté que lors des nuits de pleine lune les volontaires, pourtant enfermés dans un laboratoire sans fenêtre, avaient mis en moyenne 5 minutes de plus à s'endormir, avaient réduit leur temps de sommeil total de 20 minutes, leur taux de mélatonine de moitié, et leurs ondes delta de 30 %, ce qui témoigne d'un sommeil moins profond. C.B.



Le réchauffement a-t-il des effets sur la nuit ?

Oui, sans aucun doute, le changement climatique bouleverse aussi les nuits. Si les températures chutent quotidiennement après le coucher du soleil, la hausse généralisée du thermomètre planétaire ne s'interrompt pas pour autant avec la tombée de la nuit. De très nombreux indices climatiques prouvent en effet que, partout dans le monde, les nuits se sont sensiblement réchauffées depuis un siècle, en lien avec les activités humaines. Que l'on considère l'évolution du nombre de nuits « relativement froides » (dont la température descend nettement au-dessous des valeurs saisonnières), ou celle des nuits

« relativement chaudes », les modifications ont été spectaculaires. *« Entre 1950 et 2010, la fréquence des nuits froides a été divisée par deux et, parallèlement, celle des nuits chaudes a augmenté de 55 %, détaille Markus Donat, de l'université de Nouvelle-Galles du Sud, en Australie. Autre indication d'un réchauffement nocturne, la température de la nuit la plus froide de l'année a augmenté en moyenne mondiale de 3 °C au cours des soixante dernières années. »*

Autre constat : non seulement les nuits se réchauffent, mais, de manière singulière, elles le feraient à un rythme relativement plus soutenu

que les jours. « Tous les indicateurs fondés sur les températures présentent une tendance au réchauffement, mais ceux qui sont calculés à partir des températures nocturnes montrent en général une hausse plus marquée que ceux calculés avec les températures diurnes », note Markus Donat. La réduction du nombre de jours froids et l'augmentation du nombre de jours chauds sont ainsi moindres que ce qui est observé pour les nuits.

UNE ASYMÉTRIE ENCORE INEXPLIQUÉE

Comment expliquer ce caractère asymétrique, et assez méconnu, du réchauffement global ? « Les causes précises de la plus forte hausse des températures la nuit relativement au jour demeurent mal comprises, et de multiples processus entrent en jeu, impliquant notamment la couverture nuageuse, l'humidité des sols, les précipitations, les aérosols, l'urbanisation », explique David Karoly, de l'université de Melbourne, en Australie, qui a récemment montré qu'aucun modèle de climat (simulation numérique) ne parvenait à reproduire cette particularité. Les climatologues pensent toutefois que les nuages sont au rang des premiers suspects. En effet, la couverture nuageuse bloque une partie du rayonnement solaire en direction de la surface terrestre, ce qui limite les températures maximales de jour. Dans le même temps, celle-ci empêche la chaleur terrestre de s'évacuer vers l'espace, ce qui accroît les températures minimales la nuit. En clair, la hausse des températures liée aux gaz à effet de serre est partiellement entravée le jour, tandis qu'elle est favorisée la nuit. Résultat, l'amplitude thermique (la différence entre les températures maximales diurnes et minimales nocturnes) s'est réduite d'environ un demi-degré à l'échelle du globe depuis les années 1960.

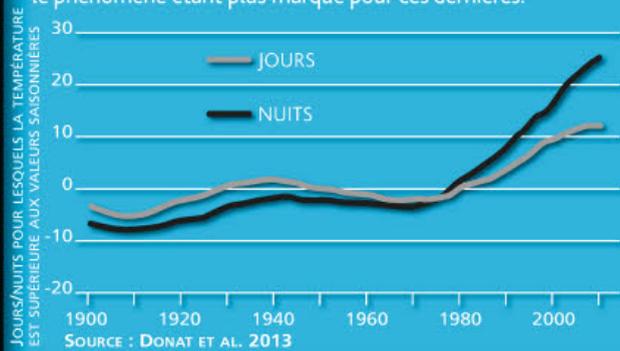
Mais cette observation fait l'objet de questionnements croissants dans la communauté des climatologues. « L'amplitude thermique a bien diminué globalement jusqu'aux années 1990, mais ce phénomène semble avoir ralenti ! Et dans certaines régions, ou selon certains jeux de données, elle serait désormais en train de

croître sans que l'on comprenne clairement pourquoi », s'étonne David Easterling, du National Climatic Data Center, aux États-Unis, qui avait mis en évidence, en 1991, la différence de régime entre le jour et la nuit. Le mystère qui entoure cette asymétrie est donc loin d'être dissipé. Seule certitude : partout les nuits sont, et seront, de plus en plus chaudes.

Cette chaleur nocturne a-t-elle un impact sur certaines espèces vivantes ? Il semble que dans les régions boréales et les régions tempérées humides de l'hémisphère Nord, les plantes pâtissent de nuits plus chaudes, alors qu'elles tirent plutôt bénéfice de journées chaudes. A contrario, des expériences montrent que les animaux à sang froid (reptiles, insectes...), dont la température interne est fixée par l'environnement extérieur, se développent plus vite lorsque les nuits sont plus chaudes. Quant aux animaux à sang chaud, ils ne sont pas pour autant indifférents à la chaleur de la nuit. À commencer par les hommes, et en particulier lors d'épisodes de canicules, comme celle qui a touché l'Europe durant l'été 2003. En ne permettant pas un repos réparateur, les températures exceptionnellement élevées mesurées pendant la nuit ont en effet joué un rôle important dans la surmortalité enregistrée alors, principalement chez les personnes âgées. Or, d'après les projections des climatologues, la fréquence des nuits très chaudes devrait fortement augmenter à l'avenir, avec un impact sanitaire majeur à attendre. B.B.

Les nuits se réchauffent plus vite que les jours

Depuis 1980, la fréquence des jours et des nuits relativement chauds explose, et l'écart se creuse entre les jours et les nuits, le phénomène étant plus marqué pour ces dernières.





ANIMAUX NOCTURNES, PLANTES, ABYSSES

LES PEUPLES DE LA NUIT

28

Le secret des espèces qui vivent la nuit. Galerie de portraits d'animaux nocturnes aux sens hyperdéveloppés.

40

Un discret rendez-vous avec la nuit. Si la lumière du jour est indispensable à la photosynthèse, les plantes ont besoin de la nuit pour grandir.

46

Quand la vie ne voit jamais le jour. Au fond des océans et des grottes existent des écosystèmes adaptés à l'obscurité.

54

Questions | Réponses

La vie a-t-elle émergé dans le noir ? Pourquoi le moustique pique-t-il davantage ses proies la nuit ? Les plantes sont-elles nocives la nuit ? Etc.



▲ Substitut sophistiqué à la vue: l'écholocation, dont sont notamment dotées les chauves-souris insectivores. Elle consiste à émettre des ultrasons et à analyser leur écho.

ÉVOLUTION

Le secret des espèces qui vivent la nuit

Du hibou à la luciole, de très nombreuses espèces sont nocturnes. Comment font-elles pour se déplacer, chasser ou se reproduire en l'absence de luminosité ? Simple : toutes ont développé des systèmes sensoriels appropriés. Visite guidée.

PAR KHEIRA BETTAYEB, AVEC CÉCILE BONNEAU

Au crépuscule, quand la plupart des humains s'apprêtent à dormir, la nature, partout sur la planète, se met à bruisser d'une faune mystérieuse, invisible. Dans les forêts, il suffit de se faire discret pour profiter d'une symphonie de coassements, ululements, stridulations, hurlements, babillements, et autres sifflements. Dans le désert, l'ambiance nocturne est plus silencieuse, mais il ne faut pas s'y fier : dès que l'étouffante chaleur de la journée se dissipe, la vie sort littéralement de terre. Les scorpions s'extraient de sous leurs cailloux protecteurs et se mettent aux aguets, la gerboise sort des profondeurs de son terrier et furete nerveusement à la recherche d'une plante à se mettre sous la dent... tout en évitant de tomber sous celles du fenec, lui aussi à l'affût, ses oreilles surdimensionnées en alerte.

Univers angoissant et dangereux pour nous (voir p. 86), la nuit est un refuge sécurisant pour un grand nombre d'animaux. Ainsi, 90 % des espèces de

Les peuples de la nuit [les animaux nocturnes]

rongeurs, la plupart des 1 200 espèces de chauves-souris, 80 % des marsupiaux, 20 % des primates et 3 % des oiseaux sont nocturnes. Pour certaines de ces espèces, l'obscurité permet d'échapper plus facilement aux prédateurs, même si nombre d'entre eux sont aussi actifs la nuit... D'autres cherchent plutôt à fuir l'écrasante température de la journée. Enfin, vivre la nuit limite la compétition avec les espèces du jour pour la nourriture, l'eau et l'espace.

« En raison de tous ces avantages, la "nocturnité" existe sûrement depuis la nuit des temps évolutifs », suppose Patrick Haffner, spécialiste des mammifères européens au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Concernant les mammifères, apparus il y a 230 millions d'années, certains scientifiques pensent que la majorité est restée principalement nocturne jusqu'il y a 65 millions d'années, époque où ont disparu leurs principaux prédateurs, les dinosaures, qui devaient être surtout diurnes. Ce ne serait qu'après la disparition de ces géants qu'une partie des mammifères aurait quitté la nuit...

LA NUIT COMME REFUGE

Tous les animaux ne sont pas nocturnes au même degré. Certains sont plutôt diurnes naturellement, mais deviennent nocturnes si leurs contrées deviennent dangereuses le jour. « C'est le cas du loup, qui est diurne en Alaska ou en Sibérie, mais nocturne dans les régions peuplées, comme en France, pour éviter les humains », explique Patrick Haffner. Certaines espèces sont nocturnes seulement une partie de l'année, « comme l'ours blanc du pôle Nord, nocturne en hiver quand la nuit dure six mois, ou le mérione, un petit rongeur nocturne en été pour éviter la chaleur du jour », précise le chercheur. D'autres, dites « cathémérales », comme la musaraigne, sont actives aussi bien en journée que la nuit. Les espèces « crépusculaires », elles, s'activent plutôt au tout début et à la toute fin de la nuit. Les animaux purement nocturnes (les chauves-souris, le galago, le gecko, etc.), enfin, sont souvent crépusculaires.

Quoi qu'il en soit, impossible de vivre dans l'obscurité avec des sens ressemblant aux nôtres. Notre vision, qui chez nous domine tous les autres sens, est bien mal adaptée à l'obscurité. Les animaux nocturnes, eux, parviennent à percevoir la nuit de leur regard, à convoquer leur odorat, leur audition et même leur toucher pour se repérer dans l'espace. Certains développent même des « sixièmes sens » extraordinaires. Portraits de nuit de ces créatures aussi discrètes que spectaculaires. ●

ESPÈCES CONCERNÉES

De nombreuses espèces nocturnes, dont le tarsier (photo), ainsi que d'autres primates nocturnes (le galago, l'aye-aye...), le hibou, la roussette (chauve-souris) et l'araignée gladiateur (*Deinopis*).





DES YEUX SURDIMENSIONNÉS

C'est un peu basique... mais ça fonctionne ! Pour mieux voir dans la nuit, de nombreux animaux nocturnes l'ont bien compris, il suffit d'avoir de gros yeux. Ils permettent de capter davantage de lumière, et donc de voir encore clair malgré la faible luminosité. Dans ce domaine, c'est le tarsier, un petit primate arboricole essentiellement nocturne, qui détient le record : ses globes oculaires atteignent 4,5 % de son poids total, contre en moyenne 0,3 % chez la plupart des autres primates nocturnes, 0,15 % chez les primates diurnes, et 0,03 % chez nous. Autre adaptation de la vision du tarsier à la nuit : il est dichromate, c'est-à-dire qu'il ne possède que deux des trois types de cellules permettant de discerner les couleurs (« cônes » rouge, vert et bleu). Une étude américaine publiée en mars 2013 suggère que c'est le passage à un mode de vie nocturne, pour chasser plus facilement ses proies (des insectes), qui a généré cette « régression » à la dichromatie.

COLLECTER LE PLUS DE LUMIÈRE POSSIBLE

Le plus grand rapace nocturne, le hibou grand-duc, a lui aussi de très grands yeux au regard de sa taille. Alors qu'il ne mesure que 75 cm en moyenne, ses yeux ont des dimensions similaires à celles des nôtres. Résultat : il voit bien mieux que nous à faible luminosité. En revanche, ses yeux sont trop encombrants pour se déplacer dans leur orbite. Du coup, ce hibou arrive à voir sur les côtés, en haut et en bas grâce à son long cou souple, qui lui permet de tourner la tête de 270 ° à l'horizontale et d'au moins 90 ° à la verticale. Quant à la roussette, une chauve-souris cavernicole dont la tête évoque celle d'un renard, elle aussi a développé des gros yeux pour localiser les arbres et les fleurs pendant la nuit et en consommer les fruits ou le nectar. Résultat, elle voit très bien dans l'obscurité, bien mieux que ses cousins friands d'insectes, les microchiroptères, qui représentent 85 % des espèces de chauves-souris. Voilà pourquoi, « contrairement à eux, la roussette ne recourt guère à l'écholocation [ce système utilisant des cris pour localiser les proies dans le noir, voir p. 35] que pour se repérer dans les grottes. Un mécanisme d'ailleurs peu développé chez elle », précise Jean-François Julien, du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.



ESPÈCES CONCERNÉES

Le gecko nocturne (photo), beaucoup d'autres reptiles terrestres (la vipère, par exemple), le chat, le loir et certains renards.

UNE RÉTINE TRÈS RICHE EN BÂTONNETS...

Tant pis pour la beauté des paysages ! Pour bien voir dans la pénombre, certains animaux nocturnes sont prêts à sacrifier leur capacité à discerner les couleurs. Leur système oculaire mise tout sur les bâtonnets, ces cellules de la rétine qui permettent la vision à faible luminosité, en noir, blanc et nuances de gris. Et ce, au détriment des cônes, les cellules qui assurent à la plupart des animaux la vision de jour en couleur. Ainsi, chez l'*Aotus* ou singe hibou (photo ci-contre), petit primate strictement nocturne, le rapport entre bâtonnets et cônes est en moyenne de 50 pour 1, contre 19 pour 1 chez l'humain. En outre, il ne possède pas de fovéa, cette zone centrale de la rétine constituée uniquement de cônes. Chez les nombreux animaux nocturnes qui en sont pourvus, une rétine très riche en bâtonnets s'accompagne souvent d'une ou de plusieurs autres adaptations à la vision de nuit, comme les yeux de grande taille dans le cas de l'*Aotus*.



UNE PUPILLE EN FENTE VERTICALE

Pour protéger de l'aveuglante lumière du jour leurs yeux sensibles, la pupille des animaux nocturnes doit pouvoir se refermer au maximum. L'adaptation que l'on rencontre fréquemment et qui satisfait à cette exigence, est la pupille en fente verticale, qui existe chez le gecko nocturne (photo ci-contre), seul lézard à vivre essentiellement la nuit. On la retrouve également chez d'autres reptiles terrestres, ainsi que chez certains mammifères. Complètement dilatée dans l'obscurité pour laisser entrer le plus de lumière possible, la pupille adopte dans la journée la forme d'un grain de melon, voire d'un simple trait vertical. Elle existe aussi dans sa version horizontale chez les animaux brouteurs. Il semble que ce système de fente autorise les ajustements de luminosité les plus importants tout en s'appuyant sur une musculature relativement simple. Mais, d'après une étude menée à l'université de Californie en 2012, elle favoriserait aussi une qualité d'image optimale dans l'axe perpendiculaire à la fente. Lorsque leur tête est droite, ces animaux ont donc une bonne vision de ce qui se passe au niveau horizontal, c'est-à-dire dans le plan du sol. Les brouteurs obtiennent le même résultat lorsqu'ils ont la tête penchée vers le bas, ce qui est le plus souvent leur cas.



ESPÈCES CONCERNÉES

Le loup (photo), le renard, le chat, le chien, le dauphin, l'araignée-loup, le hibou, certains primates (le galago, l'aye-aye...), le cerf, etc.

... OU QUI RÉFLÈCHIT LA LUMIÈRE

Éclairés par une lampe la nuit, les yeux de certains animaux, comme le loup ou le chat, semblent devenir phosphorescents. Ce rayonnement apparent est dû à la présence dans l'œil d'une membrane appelée *tapetum lucidum* (« tapis clair ») qui réfléchit la lumière. En fait, cette membrane-miroir amplifie la quantité de lumière à l'intérieur de l'œil ; les cellules nerveuses visuelles ont ainsi plus de chances d'être stimulées, et la sensibilité de la rétine s'en trouve accrue. Une propriété éminemment avantageuse pour les animaux nocturnes ! Et dont certains jouent à leur gré : une étude récente a montré que chez les rennes des régions arctiques, qui sont soumis à d'énormes différences de luminosité selon la saison, le *tapetum* change de couleur au fil de l'année. Il est bleuté en hiver, ce qui lui permet de réfléchir parfaitement les faibles longueurs d'ondes caractéristiques des longues nuits polaires, mais devient brun doré en été. Il est alors moins efficace dans l'obscurité, mais présente l'avantage de gagner en netteté.



ESPÈCES CONCERNÉES

De nombreux animaux nocturnes, dont l'*Aotus* (photo), la roussette (chauve-souris) et le chat.

DES PATTES SENSIBLES AUX VIBRATIONS

Il n'y voit goutte, ne sent pas grand-chose, et n'entend pas mieux. Pourtant, une fois la nuit tombée sur le désert de Mojave, quand la température permet enfin de sortir chasser, le scorpion des sables *Paruroctonus mesaensis* repère immédiatement le moindre insecte passant à sa portée. Et se jette dessus avec une précision diabolique. Sa technique ? La même que celle de l'araignée sur sa toile : détecter les vibrations, mais en gardant les pieds sur terre ! Car l'extrémité de ses pattes est dotée de « fentes sensorielles » abritant des neurones sensibles aux déformations mécaniques, qui perçoivent les ondes se propageant par le sol. Via la mesure du délai d'arrivée des ondes entre chaque patte, le scorpion reconstitue la direction et l'éloignement d'un insecte se déplaçant jusqu'à 15 cm de lui. Il sent aussi les ondes souterraines produites par les proies enfouies sous le sable jusqu'à 50 cm ! En outre, de longues soies sensorielles très fines et très mobiles, les « trichobothries », situées elles aussi sur ses pattes, lui indiquent la direction des déplacements d'air induits par les mouvements alentours. Autre particularité nocturne de *P. mesaensis*, il devient fluorescent à la lumière de la Lune. Un changement de couleur qui attirerait les papillons de nuit dont il raffole, ou qui le mettrait en garde contre les nuits trop claires pour être sûres.



DES DÉTECTEURS

ESPÈCES CONCERNÉES

Outre le crotale (photo), la thermo-réception existe aussi chez les boas, les pythons et la chauve-souris vampire.





ESPÈCES CONCERNÉES

Ces récepteurs de vibrations sont présents chez plusieurs groupes d'arachnides (araignées, scorpions...), mais pas tous.

DE RAYONNEMENTS THERMIQUES

La nuit a littéralement doté les crotales d'un sixième sens ! D'ailleurs, on voit très bien, sur leur tête, l'organe qui en est la source. « *Ce sont les deux fossettes situées de chaque côté du museau, entre les yeux et les narines* », indique Ivan Ineich, spécialiste des reptiles et des amphibiens du Muséum national d'histoire naturelle. Des fossettes hautement techniques : elles abritent des capteurs à infrarouges, véritables petites caméras thermiques ! Grâce à elles, impossible de manquer un animal à sang chaud tapi dans l'obscurité. Le crocodile perçoit même une image précise de sa forme, tant le système est sensible : il détecte une variation de quelques millièmes de degré. Peu répandue dans le règne animal, la thermoréception se retrouve aussi chez la chauve-souris vampire (*Desmodus rotundus*), qui l'utilise pour localiser sur ses proies les zones les plus chaudes, celles où affluent les veines et où il faut planter ses crocs !

UN SYSTÈME D'ÉCHOLOCATION

Substitut à la vue le plus impressionnant et le plus sophistiqué de tout le règne animal, l'écholocation permet de déceler une proie dans l'obscurité la plus totale. La technique consiste à émettre des sons très aigus (généralement des ultrasons) pour repérer les êtres vivants et les objets dans l'environnement, par analyse de l'écho produit. S'il existe chez certains rongeurs, oiseaux et cétacés à dents, c'est chez la chauve-souris insectivore que ce système est le plus perfectionné. « *Il correspond à une spécialisation très élevée de l'ouïe* », souligne Jean-François Julien, du Muséum national d'histoire naturelle. Pour détecter et localiser les échos de leurs cris, les chauves-souris ont des oreilles ressemblant un peu aux nôtres, mais hypertrophiées, avec une oreille interne plus grande ; les aires cérébrales auditives, similaires aux nôtres, dont elles se servent pour analyser l'écho sont aussi proportionnellement plus développées. Grâce à l'écholocation, la chauve-souris peut déterminer très précisément la distance, la direction et la vitesse de vol de sa proie. Outre la chasse, l'écholocation lui sert aussi à s'orienter et à recueillir des informations sur les chauves-souris proches (sexe, espèce, âge...).

ESPÈCES CONCERNÉES

Les chauves-souris insectivores (photo), la musaraigne, le martinet cavernicole, le guacharo des cavernes, le tarsier, et certains cétacés à dents.



LA PRODUCTION D'UN CHAMP ÉLECTRIQUE

Autour d'eux, il y a de l'électricité dans l'eau... Pour s'orienter, détecter des proies ou communiquer avec des congénères dans des eaux troubles ou rendues noires par la nuit, certains poissons génèrent un champ électrique, dont les variations permettent d'identifier les obstacles, les proies ou les congénères présents sur leur chemin. C'est le cas du *Rhamphichthys rostratus* (photo), un poisson nocturne des eaux douces d'Amérique du Sud. Faiblement électrique (quelques volts), il émet de très brèves impulsions (1 milliseconde) séparées par des intervalles d'une douzaine de millisecondes.

Un courant produit par des cellules musculaires génératrices d'électricité, les « électrocytes », disposées tout le long du corps. Le poisson perçoit ensuite les variations du champ électrique dues à la présence de proies ou de congénères grâce à de très nombreux organes sensoriels implantés sous sa peau, les « électrorécepteurs ampullaires ». Répartis sur tout son corps, ils sont en plus forte concentration autour de sa bouche. C'est d'ailleurs en fouillant le sol avec son museau allongé qu'il dénêche les vers et les crustacés dont il se nourrit. Il existe quelques milliers d'espèces de poissons sensibles aux champs électriques, dits électrosensibles, dont plus de 500 sont aussi électrogènes (capables d'émettre des décharges électriques).



ESPÈCES CONCERNÉES

La chouette (ici, une chouette hulotte), le hibou, des insectivores dont la vue n'est pas très développée (le hérisson, la taupe...), et le renard.



ESPÈCES CONCERNÉES

Le *Rhamphichthys rostratus* (photo), le poisson éléphant africain, le poisson-couteau vert, ainsi que des centaines d'autres espèces de poissons.



UNE OUIË EXTRÊMEMENT FINE

Si la chouette a de grands yeux, ce n'est pas à eux qu'elle doit sa réputation de chasseur nocturne hors pair, mais à son ouïe. « Elle peut repérer une souris qui court dans l'herbe dans le noir le plus complet grâce à sa seule audition », assure Alexandre Roulin, de l'université de Lausanne. Un talent indispensable pour capturer les petits rongeurs camouflés dans les herbes hautes. Cette ouïe fine, la chouette la doit d'abord au positionnement de ses oreilles, cachées sous les plumes du masque facial : la droite est plus haute que la gauche, et cette dernière est orientée vers le bas. Une asymétrie qui rend l'oiseau très sensible aux légères différences de temps d'arrivée d'un son à chaque oreille, et lui permet de situer 3 fois plus précisément que nous la hauteur de la source d'un son. Ensuite, son masque facial concentre les sons vers ses oreilles en les amplifiant. Enfin, la région cérébrale qui traite les messages nerveux venant des oreilles est très riche en neurones : « Comparée à la corneille noire, un oiseau de taille similaire, l'aire auditive de la chouette effraie est 2 fois moins grosse, mais contient 3 fois plus de neurones », précise Alexandre Roulin. D'où un traitement plus rapide de l'information. Mais les oiseaux n'ont pas l'exclusivité de la finesse de l'ouïe : le renard, par exemple, peut entendre un campagnol se déplacer à quelques mètres de lui.

DES MOUSTACHES HYPERSENSIBLES

Bien plus que de simples poils, les moustaches de certains animaux sont de véritables antennes, indispensables à leurs déplacements dans le noir. Nommées vibrisses, elles transmettent les vibrations perçues à un organe sensoriel situé à leur base. Activées par la rencontre avec un obstacle ou par des déplacements d'air, elles repèrent tout objet ou toute proie situés à proximité. Sans elles, le loir, petit rongeur essentiellement nocturne, serait perdu. C'est aussi un atout pour les félins, les rongeurs, et plusieurs animaux marins. Certaines espèces d'araignées nocturnes ont, elles, des soies sensorielles sur les pattes. Tout comme les vibrisses, « ces "mécanorécepteurs", présents par milliers chez la mygale nocturne, détectent toutes les vibrations liées aux déplacements de l'air et donc des proies », explique Christine Rollard, du Muséum national d'histoire naturelle.



ESPÈCES CONCERNÉES

Les rongeurs (ici, le loir),
les félins, le cheval,
la baleine et le phoque.



ESPÈCES CONCERNÉES

Les reptiles (serpents et lézards, dont le monstre de Gila, en photo ci-contre) et les amphibiens.

UNE BIOLUMINESCENCE MULTIFONCTIONNELLE

Certains animaux nocturnes disposent de leur propre système d'éclairage ! Les plus communs en France sont les lucioles, dont la belle lumière vert-jaune est générée lors d'une réaction chimique dans un organe spécifique à l'extrémité de leur abdomen. Dite « bioluminescence », cette réaction entre deux molécules, la luciférine et la luciférase, émet des photons. Le signal permet à la femelle de trouver un partenaire sexuel adéquat, chaque espèce clignotant à un rythme et à une intensité spécifiques. Toutefois, les femelles *Photuris versicolor* et *Photuris « B »* imitent les clignotements des femelles *Photuris macdermotti* pour attirer les mâles de cette espèce... et s'en nourrir ! D'autres animaux, principalement marins, utilisent la bioluminescence pour communiquer avec leurs congénères ou attirer des proies, mais aussi pour se camoufler et se défendre.



ESPÈCES CONCERNÉES

Certaines méduses, la crevette des abysses *Oplophorus* ou encore le poisson nocturne *Photoblepharon*.

UN ODRAT SURDÉVELOPPÉ AU BOUT DE LA LANGUE



Chez certaines espèces nocturnes, le sens de l'odorat, excellente alternative à la vision, est développé à l'extrême. C'est le cas chez le monstre de Gila (*Heloderma suspectum*) qui localise ainsi ses futures victimes. Hibernant d'octobre à fin mars, puis diurne au printemps, ce lézard venimeux vivant dans certains déserts d'Amérique du Nord devient nocturne en été (surtout de fin juillet à fin août) pour éviter la chaleur écrasante du désert en journée. Dans le noir, il décèle les petits oiseaux, les œufs, les souris, lézards et grenouilles dont il se nourrit à leur odeur, grâce... à sa langue. En effet, son nez n'est pas doué du sens de l'odorat et, comme de nombreux reptiles, c'est avec sa langue qu'il capte les odeurs. Cette dernière récolte les minuscules substances chimiques odorantes présentes dans l'air et les porte dans la cavité buccale jusqu'au palais, où elles sont analysées par l'organe de Jacobson (ou organe voméronasal), lui-même relié au cerveau. Le sens de l'odorat du monstre de Gila est si aiguisé qu'il arrive à localiser des œufs enterrés à 15 cm de profondeur! Autre reptile utilisant sa langue pour reconnaître des *stimuli* olfactifs : le dragon de Komodo. Avancé en balançant la tête pour que sa langue capte mieux les molécules flottant dans l'air, il arrive à détecter une proie située jusqu'à 4 kilomètres de distance!

L'OBSERVATION DES ASTRES POUR SE DIRIGER

C'est un petit coléoptère absolument passionné par les excréments : il s'en nourrit, passe un temps considérable à les transporter, et construit même son terrier avec. Pourtant, ces êtres apparemment frustrés sont assez subtils pour s'orienter dans la nuit... en lisant les étoiles! Une étude suédoise publiée en janvier 2013 par Marie Dacke, de l'université de Lund, a montré qu'ils se dirigent non seulement grâce à la lueur de la Lune, mais aussi, en l'absence de celle-ci, grâce à celle de la Voie lactée. Seul un ciel très nuageux perturbe en effet la trajectoire rectiligne selon laquelle le bousier roule nuitamment sa boule d'excréments. Cette capacité à s'orienter grâce aux étoiles est aussi connue chez les oiseaux migrateurs, et a été prouvée en 2008 chez le phoque, lors d'une expérience dans une piscine recouverte d'un dôme étoilé à la manière d'un planétarium.



ESPÈCES CONCERNÉES

Les bousiers (photo),
les phoques et les oiseaux.



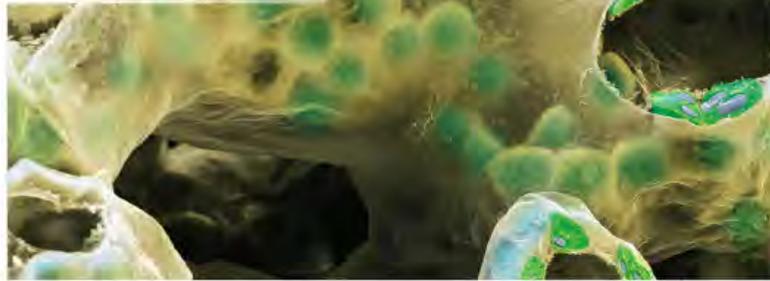
Avec la nuit, la photosynthèse s'arrête, faute de lumière. D'autres mécanismes s'activent alors, qui permettent aux plantes d'utiliser la matière organique produite le jour.



^ Certaines plantes ferment leurs stomates le soir (ces orifices situés à la surface des feuilles qui assurent les échanges gazeux) pour restaurer leur teneur en eau.

> La matière organique produite lors de la photosynthèse grâce notamment aux chloroplastes (grains verts) est stockée sous forme d'amidon (grains gris).

mais aussi les ingénieurs, incapables de reproduire ses performances artificiellement. Les regards scientifiques sur le monde végétal se portent donc résolument sur cette partie essentielle de leur vie : la journée. Sauf qu'une machinerie aussi complexe ne saurait fonctionner sans s'interrompre ! Certes, il existe des lignées qui, moyennant des soins particuliers (apports en nutriments, en eau...), supportent un éclairage continu en laboratoire ou en serre. Mais la plupart des espèces n'apprécient guère un tel régime, et la nuit est une nécessité vitale pour elles. « *La nuit va être en quelque sorte réparatrice*, explique Bertrand Muller, qui dirige le Laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environ-



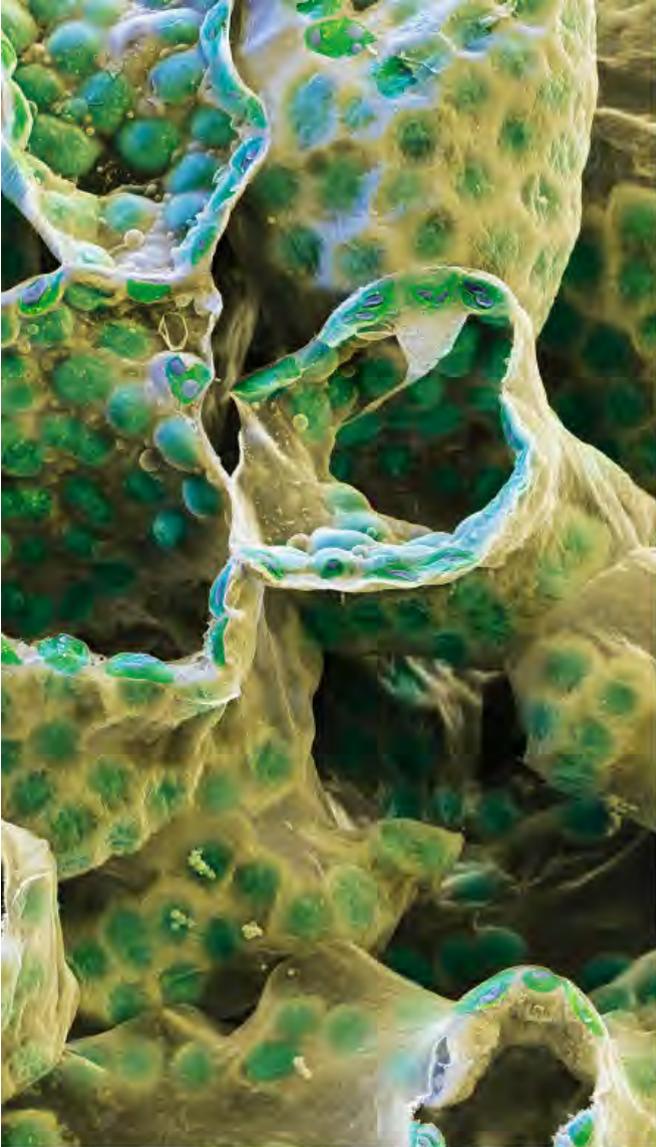
plantes consacrent donc leurs nuits à entretenir leur métabolisme et surtout... à grandir.

Car dès que l'obscurité se fait, les mécanismes végétaux s'inversent. La photosynthèse s'arrête naturellement faute de lumière et les stocks produits tout au long de la journée sont consommés. De quoi sont constitués ces fameux stocks ? Généralement d'amidon, une molécule complexe qui se présente sous forme de petits grains (photo ci-dessus), emmagasinés dans les graines, les racines, les

Entre le soir et le matin, la plante gère ses réserves au plus près, et tout se passe comme si elle effectuait de véritables calculs !

nementaux (Lepse) de l'Inra, à Montpellier. *C'est le moment où certaines plantes ferment leurs stomates, interrompent leur flux d'eau et restaurent la turgescence de leurs cellules.* » Or, cette pression de turgescence est nécessaire à la plante pour grandir et déformer les parois rigides de ses cellules. De la même manière que nous avons besoin de sommeil pour restaurer nos fonctions (voir article p. 60), les

fruits, etc. Or, une fois la nuit tombée, ces réserves sont transformées en diverses molécules qui vont servir soit à construire le squelette carboné de la plante, soit à former des réserves d'énergie sous forme d'ATP (la molécule d'adénosine triphosphate, le « pétrole » de toute cellule vivante). C'est ce que les scientifiques nomment le *turnover* de l'amidon. En bref, la plante constitue des réserves pendant la



UNE HORLOGE COMMUNE AU VIVANT

C'est à une plante, *Mimosa pudica*, que l'on doit la découverte du mécanisme d'horloge biologique commun à tous les êtres vivants, humains compris ! L'expérience fondatrice fut réalisée en 1729 par l'astronome français Jean-Jacques d'Ortous de Mairan. Sachant que cette plante, aussi nommée « sensitive », replie ses feuilles à la tombée de la nuit et les redéploie le matin, le savant en place un spécimen dans un placard obscur et remarque que l'ouverture et la fermeture des feuilles perdurent selon un rythme quasi constant malgré l'absence de lumière ! Ce qui suggère l'existence d'une horloge naturelle interne à la plante. Dans les années suivantes, d'autres biologistes confirment l'existence de ces rythmes circadiens (du latin *circa*, « environ », et *dies*, « jour ») indépendants de tous paramètres extérieurs (température notamment), puis les zoologues constatent des mécanismes similaires chez les animaux. On voit par exemple que les chauves-souris se réveillent chaque jour au crépuscule même en l'absence de repères lumineux, ou que les oiseaux migrateurs s'orientent en fonction de la position du Soleil, ce qui implique de « connaître » l'heure, puisque le Soleil bouge dans le ciel. Et, en 1962, avec son expérience de deux mois à l'intérieur d'une grotte coupée du monde, le spéléologue Michel Siffre montrera qu'il adoptait un rythme très régulier de 24 heures et 30 minutes.

journée, puis les consomme et les redistribue pendant la nuit vers les jeunes feuilles, les fruits, et les tiges qui sont justement en train de grandir.

En juin dernier, Alison Smith et Martin Howard, du John Innes Centre, en Grande-Bretagne, ont montré que cette consommation de réserves ne se fait d'ailleurs pas tout à fait au hasard chez la plante (du moins chez leur sujet d'étude, *Arabidopsis thaliana*, principal modèle exploré en biologie végétale), ni même sur une base régulière et continue. On peut même dire qu'entre le soir et le matin, la plante gère ses ressources au plus près et que tout se passe comme si elle effectuait de véritables calculs arithmétiques ! En effet, on observe qu'à l'aube, quand les premiers rayons du soleil apparaissent, ses réserves (systématiquement consommées à hauteur de 95 %) sont toujours quasiment épuisées. Et ce, quel qu'ait été l'ensoleillement de fin de journée. Ce qui signifie qu'en cas de crépuscule précoce (par exemple si un orage obscurcit le ciel avant que le Soleil ne se couche), la plante consommera ses réserves plus lentement pour tenir jusqu'au matin.

Au contraire, si la journée a été particulièrement ensoleillée ou si ses stocks d'amidon sont particulièrement élevés au début de la nuit, elle n'hésitera pas à accélérer sa consommation, évitant ainsi tout gâchis. D'où le constat qu'il existe un subtil processus moléculaire interne, encore inconnu, qui lui permet littéralement de « diviser » la quantité des réserves disponibles par le temps d'obscurité restant à supporter avant le lever du jour.

UN MÉCANISME SENSIBLE À LA LUMINOSITÉ

Il faut dire que les plantes disposent d'un outil extrêmement précieux pour estimer ce temps : l'horloge interne circadienne. « *C'est un mécanisme très sophistiqué, mais pour faire simple, nous pouvons le décrire comme une collection de boucles entrelacées de rétroaction au niveau de la transcription des gènes* », indique la biologiste Stacey Harmer, qui dirige les recherches sur les rythmes circadiens au département de biologie des plantes à l'université de Davis, en Californie. Or, si elle fonctionne d'elle-même au cœur des cellules, cette



AV> CERTAINES PRÉFÈRENT L'OBSCURITÉ

Il est des fleurs qui ne s'ouvrent qu'à la nuit, comme celles du silène penché (ci-dessus) et du lys Casablanca (ci-contre). L'intérêt pour les plantes est d'attirer des pollinisateurs nocturnes ou de préserver leurs réserves en eau, comme dans le cas des cactus *Cereus* (à droite).

horloge nécessite un réglage régulier. Et c'est justement l'obscurité, ou plutôt l'alternance jour/nuit, qui la maintient exacte en permanence. Présente aussi chez les animaux (voir encadré page précédente), l'horloge biologique est impliquée dans tous les aspects du métabolisme de la plante : photosynthèse, vitesse de synthèse ou de dégradation de l'amidon, utilisation des sucres, absorption minérale, résistance au froid ou encore ouverture des corolles et fabrication du nectar aux moments les plus propices à la survenue des pollinisateurs. Elle joue aussi un rôle prépondérant dans l'adaptation des plantes aux variations saisonnières, en particulier dans les milieux tempérés. En effet, les plantes intègrent l'information de leurs photorécepteurs (qui déterminent si le Soleil est levé ou non) et de leurs horloges circadiennes afin de déterminer la saison en cours, et de définir la phase du cycle de vie (hibernation, croissance, floraison...) dans laquelle elles sont censées se trouver.

LA DURÉE DE LA NUIT INDIQUE LA SAISON

En plus de maintenir la fiabilité de l'horloge biologique, la durée de la nuit aura donc un impact sur le « top départ » de la croissance ou de la floraison. « La plupart des plantes qui subissent les rythmes saisonniers, comme le passage de l'état végétatif à celui de la croissance reproductive, dépendent de leurs horloges pour "connaître" la saison dans laquelle elles se trouvent, explique Stacey



Harmer. Les épinards, par exemple, "savent" qu'il est temps de fleurir quand les jours dépassent un certain nombre d'heures. »

La nuit du monde végétal réserve aussi quelques surprises... Certains soirs d'été, on sent parfois un puissant parfum emplir soudainement l'air ; ou une fragrance subtile, délicate, quasi imperceptible se diffuser dans la pénombre... Peut-être l'envoûtante odeur du galant de nuit (ou jasmin de nuit, *Cestrum nocturnum*), celle du rare silène penché (*Silene nutans*), ou celles, si intenses, de la giroflée odorante et du lys Casablanca... Ces notes florales qui surviennent à la tombée de la nuit, quand les étoiles commencent à scintiller dans le ciel, prouvent que quand la nature semble assoupie, il est des fleurs qui sont au contraire tirées de leur léthargie par le crépuscule. Certes, la plupart d'entre elles ont tendance à replier (plus ou moins selon les espèces) leur corolle, afin de se protéger



l'évaporation que produirait, dans cet habitat aride, une floraison sous un soleil de plomb. D'autres cherchent avant tout à attirer les pollinisateurs nocturnes : les très nombreux papillons de nuit ou quelques petites chauves-souris. « La plupart des fleurs nocturnes attirent des insectes qui ne sont actifs que la nuit, explique Andre Schuitman, spécialiste des orchidées aux Royal Botanic Gardens, au sud-ouest de Londres, et beaucoup ferment leurs fleurs pendant la journée afin que leur pollen ne soit pas consommé par des insectes diurnes, incapables de les polliniser. »

UNE ORCHIDÉE QUI FLEURIT... À 22 HEURES!

C'est probablement le cas de *Bulbophyllum nocturnum*, une orchidée décrite en 2011 par une équipe hollandaise et britannique. « La plante a été collectée par le botaniste Ed de Vogel sur l'île de la Nouvelle-Bretagne, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, raconte Andre Schuitman, co-auteur des travaux. Il l'a rapportée aux Pays-Bas et tenté de la cultiver. L'orchidée a bientôt fait des bourgeons, mais ceux-ci ne semblaient jamais s'ouvrir ! Un soir, de Vogel a pris la plante chez lui afin de comprendre ce qui se passait. C'est alors qu'il a découvert que les fleurs s'ouvraient vers 22 heures pour se refermer au petit matin ! » C'est la première orchidée jamais découverte qui ne fleurit que la nuit. Si le pollinisateur de cette fleur n'a pas été formellement identifié, les botanistes pensent que la fleur imite au cours de la nuit l'aspect d'une moisissure afin d'attirer un petit insecte principalement actif la nuit ou tôt le matin.

On s'étonnait déjà d'apprendre que les plantes, subrepticement, écoutent, sentent, communiquent et socialisent (voir *Science & Vie* de mars 2013). Voici qu'elles sont aussi noctambules ! ●

du froid et de l'humidité (voir encadré ci-dessous), mais d'autres profitent à l'inverse de l'obscurité pour se déployer dans toute leur splendeur.

Pourquoi afficher ainsi ses charmes dans le noir ? Pour certaines espèces, ces éclosions de l'ombre visent tout simplement à économiser leurs réserves en eau. Ainsi, les reines-de-la-nuit, les fleurs des cactus du genre *Cereus*, qui se rencontrent fréquemment au Mexique, n'éclosent que lorsque le Soleil a disparu derrière l'horizon, afin de prévenir

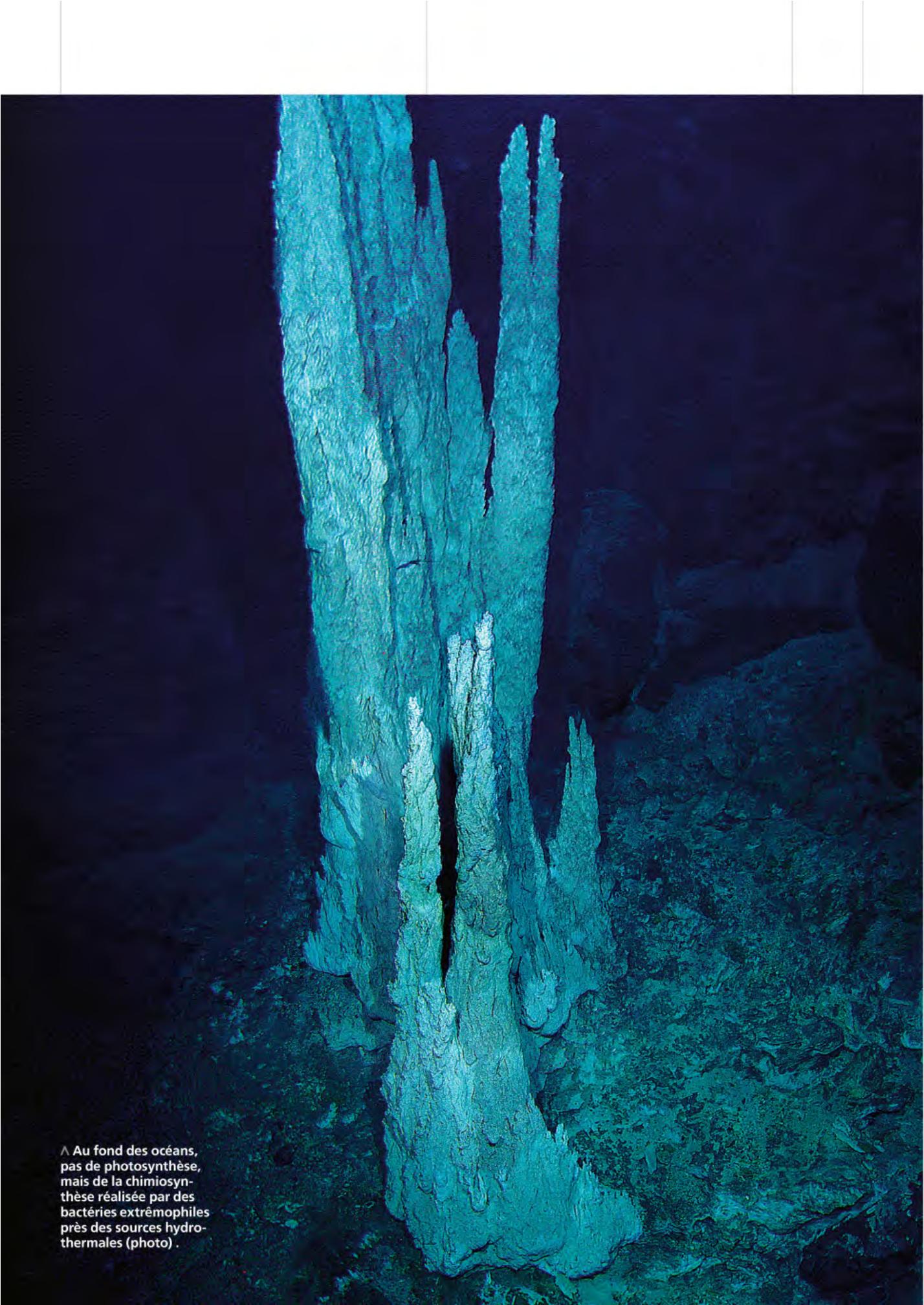
LES PLANTES AUSSI ONT UN RITUEL DE COUCHER

Comment les végétaux se « meuvent »-ils ? Comment parviennent-ils à fermer leurs pétales à la fin de la journée pour les rouvrir à la fin de la nuit (ou plus rarement l'inverse pour les espèces photographiées ci-dessus). Ce phénomène, appelé nyctinastie, a fasciné les plus grands savants,

au premier rang desquels Charles Darwin, le père de la théorie de l'évolution, qui y a consacré un de ses derniers ouvrages (*The Power of Movement in Plants*, 1880). Tout se joue en fait dans des cellules motrices situées à la base de la feuille ou du pétale. Sous l'influence des variations de la lumière,

de la température, mais aussi de l'horloge interne, les cellules subissent des modifications de concentrations, principalement en ions calcium et en ions potassium. Ces changements de concentrations entraînent alors une modification de la pression osmotique et de la turgescence des cellules : elles se

gonflent (ou se dégonflent) d'eau. Or, ces variations sont inégales entre la face supérieure et la face inférieure des pétales ou des feuilles, ce qui induit un mouvement de fermeture (ou d'ouverture) des corolles. Au matin, le processus inverse permettra à la fleur de s'ouvrir (ou de se fermer) à nouveau.



^ Au fond des océans, pas de photosynthèse, mais de la chimiosynthèse réalisée par des bactéries extrémophiles près des sources hydrothermales (photo).

A B Y S S E S , G R O T T E S

Quand la vie ne voit jamais le jour

Alors que la lumière semble indispensable à la vie, de nombreuses espèces parviennent à exister dans les grottes et au fin fond des océans, où règne une nuit noire. Comment réussissent-elles ce prodige ? Portrait d'écosystèmes hors du commun.

PAR CORALINE LOISEAU

Jour, nuit, jour, nuit... Cette alternance sans faille rythme nos vies. Elle marque naturellement l'écoulement du temps. Sans ces variations de lumière, celui-ci nous semblerait suspendu. Pourtant, on rencontre sur Terre des nuits éternelles. Des ténèbres immuables. Des lieux où jamais ne pénètre la lumière. Où nul rayon du soleil, aussi infime soit-il, ne jette la moindre lueur. Ils sont au fin fond des cavernes, dans les entrailles de la Terre, ou au cœur des océans dans les obscurs abysses. « *Les rayons du Soleil pénètrent plus ou moins loin sous la surface en fonction de la pureté de l'eau, mais globalement, ils ne dépassent pas les 200 à 300 mètres de profondeur, marquant la limite de la zone dite photique* », précise François Lallier, biologiste à la station écologique de Roscoff.

Or, en l'absence de soleil, la photosynthèse, ce processus qui permet aux plantes de fabriquer la matière organique à la base de toutes les chaînes alimentaires, est impossible. Qui dit nuit dit donc

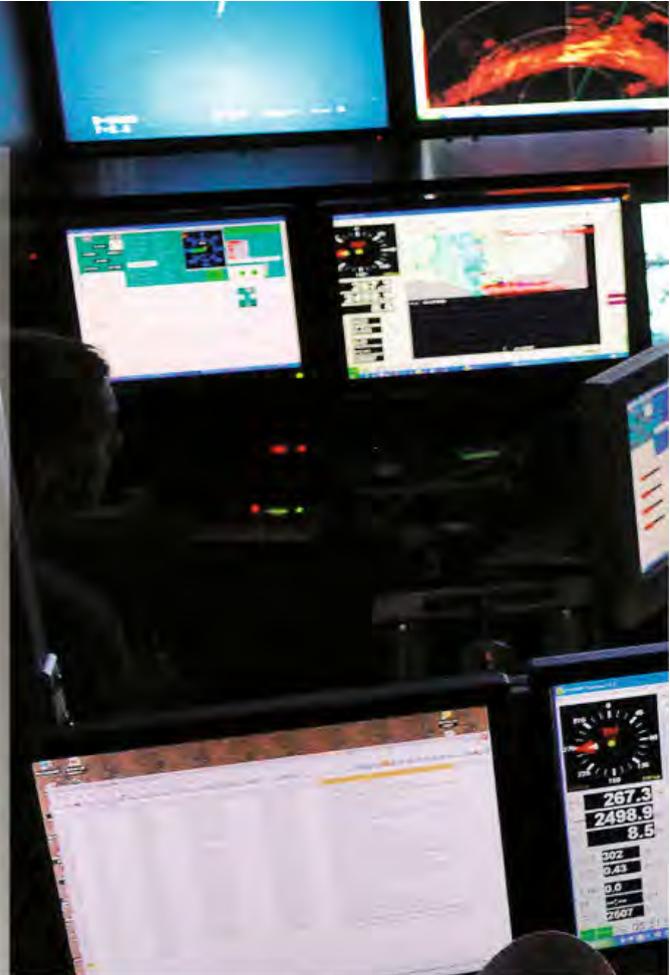
De la vie jusqu'au plus profond de l'océan



désolation? Non! Contre toute attente, les profondeurs grouillent d'une vie... qui n'a jamais vu le jour. Direction le fond de l'océan Pacifique, dans la fosse des Mariannes, sous une colonne d'eau de 10 898 mètres! Baptisé Challenger Deep, voici le point le plus profond du globe. Un des plus « nocturnes » : l'obscurité y est totale, impénétrable. En outre, la température y est frigorifique (2,5 °C) et la pression insupportable (1 100 fois celle de la surface).

UNE PRÉSENCE DE VIE QUASI MIRACULEUSE

Pourtant, il y a un an, des chercheurs danois y ont décelé la présence d'êtres vivants. Pas de krakens ou autres créatures fabuleuses, ni même de petits crabes, mais des microbes en grande quantité, trahis par leur consommation d'oxygène. Une présence quasi miraculeuse, que les scientifiques expliquent par l'apport de matière organique sous forme de coulées de sédiments venues des plaines abyssales situées un peu plus haut, à 6 000 mètres de profondeur. Mais d'où vient la matière organique contenue dans ces sédiments? Car si les plaines abyssales, situées entre 4 000 et 6 000 mètres, sont moins profondes



que les fosses océaniques, elles n'en sont pas moins totalement privées de la lumière, et devraient donc ressembler à de vastes déserts ténébreux. Sauf que, comme dans tout désert, il y fleurit ici et là quelques oasis. C'est en 1977 qu'elles furent découvertes, lors d'une mission d'exploration américaine sur la dorsale océanique des Galápagos. Les projecteurs du sous-marin *Alvin* révélèrent une vie grouillante, palpitant dans le noir autour de cheminées géantes par lesquelles s'échappaient des panaches opaques. Depuis, de nouvelles plongées ont permis d'étudier ces environnements atypiques, comme la campagne Bicose menée par l'Ifremer en janvier et février derniers le long de la dorsale médio-Atlantique.

Baptisées sources hydrothermales, ces structures désormais bien connues ne semblent pas très accueillantes : elles crachent une eau à 350 °C bourrée de composés acides. Et pourtant ! Des bactéries y ont élu domicile, trouvant à leur goût le très toxique hydrogène sulfuré. Les biologistes ont découvert qu'elles utilisent l'énergie de son oxydation pour produire de la matière organique, exactement comme les plantes utilisent l'énergie des rayons lumineux lors d'une photosynthèse. Cette réaction de chimiosynthèse permet donc la production d'une toute première source de nourriture dans les abysses, à partir de laquelle parvient à se former



< Les abysses sont longtemps restés inaccessibles aux scientifiques. Mais depuis les années 1980, les campagnes d'exploration se multiplient.

toute une chaîne alimentaire. Résultat : malgré l'obscurité, les sources hydrothermales deviennent un véritable carrefour où se croisent des dizaines d'espèces. Non seulement des micro-organismes, mais aussi des vers monstrueux, des crustacés, des mollusques, et même des poissons incroyables... Autour des sources hydrothermales, on observe ainsi entre 10 000 et 100 000 fois plus de biomasse que sur le reste des grands fonds !

Car plus on s'en éloigne, plus les noires plaines abyssales semblent se vider de toute vie. Dans ces vastes étendues à première vue désertiques, il n'y a plus de production de matière organique par des micro-organismes. Pourtant, elles aussi sont bel et bien habitées ! « À ces profondeurs, on trouve toujours une grande diversité d'espèces, confirme Fran-

chute doucement de la zone éclairée, là où la photosynthèse bat son plein, vers les plaines obscures. Au menu : déchets divers, tels que restes de plantes ou cadavres d'animaux. Mais le festin est modeste. Car au cours de la descente, la majeure partie de cette nourriture est happée par les espèces des moindres profondeurs. Derniers servis, les occupants des sombres abysses ne reçoivent ainsi qu'environ 1 % de ladite neige providentielle. Et encore moins pour ceux qui vivent à l'aplomb des zones oligotrophes, au milieu des océans, où la production de plancton est infime. Pourtant, à la première occasion, la vie surgit spontanément de nulle part : « Lorsqu'un cadavre de baleine, qui coule très vite, arrive presque entier dans les abysses, on voit aussitôt surgir quantité d'espèces de charognards », raconte François

Lorsqu'un cadavre de baleine coule à pic dans les abysses, on voit surgir de nulle part quantité d'espèces de charognards

çois Lallier. Le problème, c'est que l'on a beaucoup de mal à les observer, simplement parce que, en raison du peu de ressources disponibles, le nombre d'individus y est moindre qu'ailleurs », ajoute-t-il. De fait, la seule nourriture disponible ici est celle qui tombe du ciel : la « neige marine », nom donné à cet apport providentiel de matière organique qui

Lallier. Aucun herbivore, en effet, dans ces zones sans plantes, mais des charognards et des prédateurs qui, dans la pénombre du fond des mers, prennent parfois l'allure de monstres. Certains se sont même adaptés à la nuit éternelle qu'ils habitent en produisant leur propre lumière ! Preuve vivante : le *Chaenophryne longiceps*, un poisson de l'ordre

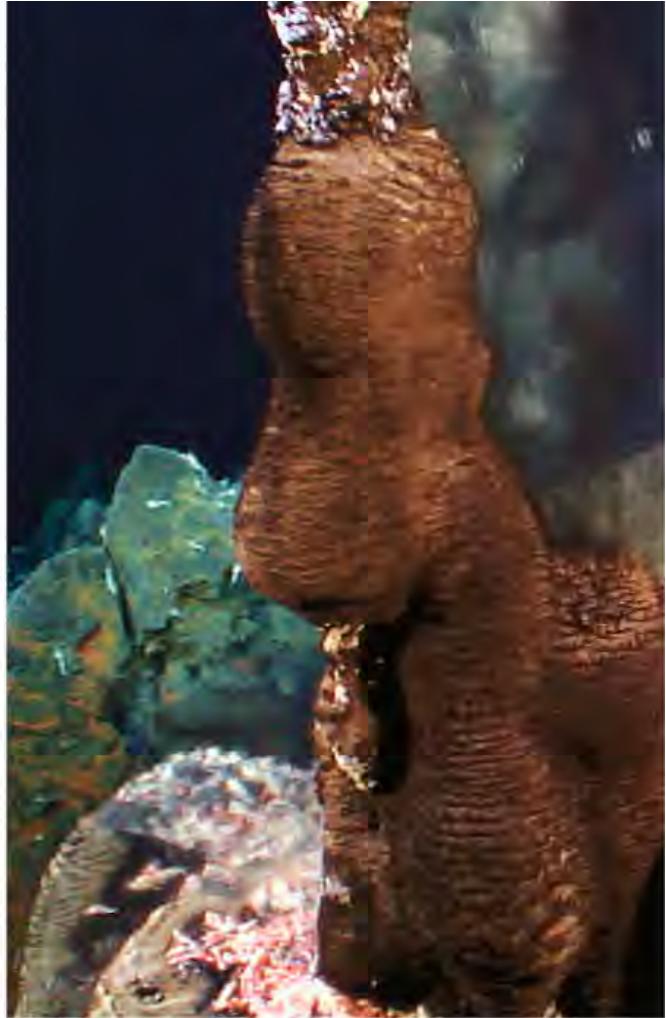
MIKO KONTEITE - D. LEVIN/WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INST.

des Lophiiformes à la dentition effrayante, qui vit jusqu'à 3000 mètres de profondeur. Comme d'autres représentants de cet ordre, *C. longiceps* possède un leurre qu'il laisse pendre devant sa gueule béante comme une canne à pêche pour attirer ses proies. Sauf que ce leurre brille comme une étoile dans la nuit ! Un phénomène assuré par la colonie de bactéries bioluminescentes qu'il héberge.

UN CAMOUFLAGE LUMINEUX

D'ailleurs, si la lumière est l'alliée des prédateurs, elle peut aussi se faire celle des proies. C'est le cas du poisson hachette, qui nage entre 300 et 1000 mètres de profondeur. Quand il quitte le fond pour s'approcher de la surface, sa silhouette se détache sur la clarté des eaux au-dessus de lui... C'est alors que des organes spéciaux producteurs de lumière, les photophores, s'allument sur son ventre. En adaptant l'intensité de l'éclairage pour obtenir une lumière similaire à celle – très faible – qui tombe d'en haut, il s'assure ainsi d'être invisible pour les prédateurs qui guettent juste en dessous de lui... Dans ces milieux nocturnes, la bioluminescence a été adoptée par bon nombre d'espèces pour remplir des rôles aussi divers que la prédation, la défense, la communication ou même tout simplement l'éclairage.

En s'agglutinant autour d'oasis de production de ressources ou en récupérant celles tombées des moindres profondeurs, et en développant quelques trouvailles évolutives incongrues comme la bioluminescence, les créatures abyssales ont donc fort bien réussi à s'accommoder de l'absence de lumière. Mais qu'en est-il lorsque ce ne sont plus des masses colossales d'eau qui masquent les rayons du soleil, mais carrément de la roche dure ? Car dans les grottes terrestres, il ne faut plus s'attendre à ce qu'une manne nourricière tombe d'en haut... Ces milieux semblent encore plus isolés que les plaines des grands fonds. « *Il existe même des cavités qui*



ces zones disposent, comme les abysses océaniques, de ressources en nourriture très rares, mais pas nulles. Ainsi, l'eau d'infiltration qui traverse la roche amène des nutriments. D'autres ressources sont également apportées de l'extérieur par les courants d'air, par les crues des rivières souterraines ou par des animaux aventureux. Et, enfin, elles sont aussi produites *in situ* par la chimiosynthèse de bactéries, comme près des sources hydrothermales. Coincés dans ces milieux *a priori* inhospitaliers, les troglobies – c'est ainsi que l'on nomme les occupants permanents des grottes obscures – ont développé d'étonnantes particularités.

Grâce aux sources hydrothermales et à la nourriture tombant de la surface, les créatures abyssales se passent de lumière

fonctionnent en vase clos, comme la fameuse grotte de Movile, en Roumanie », souligne Georges Michel, géologue et membre de la Commission wallonne d'étude et de protection des sites souterrains, en Belgique. Mais ces bulles restent des cas exceptionnels. Généralement, les zones profondes, totalement sombres, sont tout simplement éloignées de l'entrée de la cavité : très rapidement, il n'y a plus de lumière et de plantes. Qu'elles soient isolées ou profondes,

Parmi eux, le tétra cavernicole de l'espèce *Astyanax mexicanus*, un petit poisson d'une douzaine de centimètres qui vit dans les nappes d'eau souterraines de plusieurs grottes mexicaines, détonne sur sa photo de famille. En effet, contrairement à son cousin de surface, ses yeux ne se développent pas et se recouvrent même d'une peau qui dissimule complètement les moindres vestiges de cristallin ! Résultat, une face sans regard des plus effrayantes,



◀ Des dizaines d'espèces vivent près des sources hydrothermales, comme le « crabe yéti », *Kiwa hirsuta* (15 cm), et la crevette *Rimicaris exoculata* (5 cm). Mais d'autres sillonnent les profondeurs, comme *Chaenophryne longiceps* (24 cm).



mais pas étonnante pour les scientifiques : « En plus d'être inutile dans un environnement totalement voué à la nuit, mettre en place des yeux coûterait une énergie qu'il est sans doute préférable d'économiser à d'autres fins », explique Georges Michel. L'évolution aurait donc privilégié les poissons sans yeux. « Autre hypothèse, poursuit le chercheur, les yeux sont des structures très sensibles et plus perméables que la peau par exemple. Les atrophier et les recouvrir d'une membrane limiterait donc de beaucoup le risque d'infections. » Voilà pourquoi, après avoir été séparé de ses congénères il y a plus de 500 000 ans, et se trouvant condamné à vivre dans les rivières souterraines formées par une série de tremblements de terre, le tétra cavernicole aurait perdu la vue... qui lui a été rendue par un chercheur américain en 2008 ! Pour ce faire, le scientifique a simplement croisé les populations d'*Astyanax* de quatre cavités différentes. En recombinaison des gènes, l'opération a défait les mutations qui avaient rendu l'animal aveugle chez chacune des souches, preuve s'il en est que cette adaptation – bien qu'ayant eu le même effet – avait pris des chemins différents chez les quatre populations !

C'est ici l'illustration de ce que les spécialistes nomment l'évolution convergente : des lignées

d'êtres vivants qui vivent dans les mêmes conditions finissent par développer des adaptations semblables, même s'ils n'ont rien à voir les uns avec les autres. Et cette évolution convergente peut jouer de bien vilains tours aux scientifiques. « Longtemps, on a considéré que les crustacés *Nyphargus virei*, que l'on retrouvait dans des cavités dans le bassin du Rhône, en Alsace, en Belgique et près des Pyrénées, étaient une seule et même espèce. En effet, ils présentaient des caractéristiques morphologiques très proches. Il a fallu attendre une analyse génétique pour se rendre compte qu'il s'agissait en

> Autre milieu privé de lumière: les grottes (ici, celle de Moville, en Roumanie). Elles abritent une faune endémique qui s'est adaptée à ces conditions de vie extrêmes.



▲ Les espèces cavernicoles présentent souvent les mêmes adaptations. L'absence des yeux (ici, chez *Astyanax mexicanus*) est ainsi largement répandue.

réalité d'espèces différentes, mais qui s'étaient modifiées de la même façon à force de vivre en milieu souterrain », relate le géologue.

Et ces réponses évolutives communes apparaissent même entre des animaux très différents. Ainsi, la régression des yeux qu'a connue le tétra se retrouve-t-elle chez bon nombre de troglobies, comme le protéé, un amphibien proche de la salamandre qui est un véritable modèle parmi les troglobies, chez qui le développement des autres sens comme l'odorat ou le toucher est venu compenser la perte de la vue. « Un ensemble de caractères se retrouvent chez de très nombreux organismes souterrains, au point qu'on parle ici de syndrome de troglomorphie, précisent Tristan Lefébure et Pierre Marmonier, du laboratoire Écologie, Évolution, Écosystèmes souterrains, à Lyon. Dépigmentation, régression des yeux, corps vermiforme, survie à de très basses teneurs en oxygène, capacité à jeûner très longtemps... Globalement, ils ont un métabolisme très réduit semblant être une adaptation à un milieu très pauvre en ressources trophiques. »

PLUS DE 50000 ESPÈCES CAVERNICOLES

Mais de la faune cavernicole, difficilement observable en raison de son milieu et de la très faible densité des populations souterraines, on sait encore aujourd'hui bien peu. Pourtant, les milieux souterrains aquatiques ou terrestres abriteraient de 50 000 à 100 000 espèces à travers le monde, selon les estimations des chercheurs américains David Culver et John Holsinger. Une biodiversité finalement très



< L'obscurité conduit aussi à la dépigmentation, comme chez ce crustacé cavernicole, *Asellus aquaticus infernus*.

importante, marquée par une particularité : son endémisme, c'est-à-dire le fait que beaucoup d'espèces ne se rencontrent que dans une zone géographique très restreinte. L'habitat souterrain est en effet fragmenté et isolé, des formations géologiques imperméables séparant les cavités les unes des autres. D'où un effet similaire à l'insularité, si bien mise en évidence sur les îles des Galápagos par Charles Darwin.

Ultime particularité de ces êtres des profondeurs : privés de l'alternance jour/nuit, ils adoptent un autre rythme de vie. À la surface de la Terre, beaucoup d'organismes possèdent une horloge biologique calée sur le cycle du Soleil. Chez l'homme, c'est ainsi le sommeil, vital, qui en dépend. Mais comment adopter un rythme régulier quand tous les paramètres physiques de l'environnement sont constants ? En fait, les grands fonds subissent à leur façon les effets du cycle circadien de la surface, notamment lors des marées. Celles-ci, dépendantes de la Lune, se



découragé le vivant, abritent donc une vie riche et diversifiée. Une vie qui, non contente de s'accommoder de l'absence de lumière, ne pourrait même carrément pas survivre dans d'autres conditions. Sortir un troglobie de sa grotte, où l'humidité est de 95 % et où il n'entre pas le moindre UV, c'est le condamner à coup sûr au dessèchement ou à la brûlure... Créatures de la nuit elles sont devenues, et créatures de la nuit elles doivent désormais rester. « Car on sait que tous les organismes souterrains de grande taille (vers, crustacés, poissons, salamandres...) ont un ancêtre de surface », soulignent Tristan Lefébure et Pierre Marmonier.

UNE COMPÉTITION MOINS FORTE

Les poissons abyssaux seraient eux aussi des descendants d'espèces qui vivaient dans des eaux peu profondes, avant de gagner les grands fonds. Mais pourquoi quitter des zones riches pour s'inféoder à des milieux pauvres ? « Certes, les ressources sont rares au fond des océans, mais il y a aussi moins d'occupants pour se les disputer ! remarque François Lallier. Cela vaut peut-être le coup d'accepter quelques contraintes – comme une forte pression ou le noir total – pour avoir moins de concurrents. Dans les zones d'eaux peu profondes où il y a davantage de production primaire, il y a aussi plus de compétition pour se l'approprier. Toutes les niches écologiques des écosystèmes sont occupées, et tous les milieux ont leurs avantages et inconvénients. »

Le milieu cavernicole, quant à lui, présente un certain confort : « C'est un environnement particulièrement stable, car quasiment ou complètement clos, qui ne connaît pas de variations de température au cours de l'année, par exemple », précise Georges Michel. La garantie d'un monde sans mauvaise surprise. Mais l'endémisme extrême et les faibles effectifs de population rendent cette biodiversité

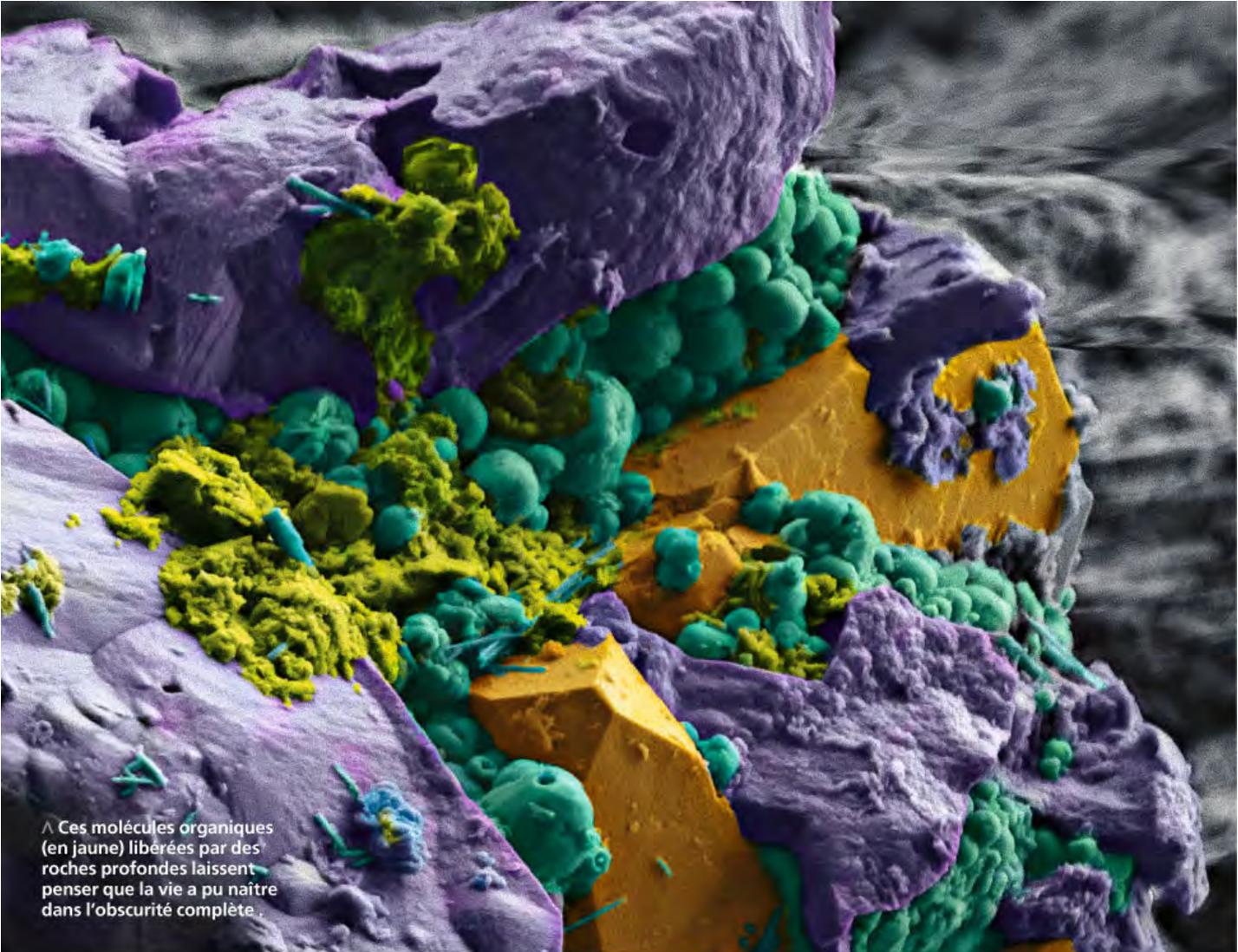
manifestent par une variation de quelques mètres dans la hauteur de la mer. « Si sur une colonne d'eau de plusieurs kilomètres cette variation peut sembler insignifiante, elle suffit néanmoins à modifier la pression jusqu'au niveau des sources hydrothermales, modifiant le flux des gaz qui s'en échappent et impactant par la même occasion tout l'environnement proche », explique François Lallier. « Dans le milieu souterrain, les organismes qui ont colonisé les lieux très récemment – c'est-à-dire il y a à peine quelques centaines de milliers d'années – conservent des cycles de vie classiques, même s'ils sont déconnectés

Survie à de très basses teneurs en oxygène, capacité à jeûner très longtemps... les troglobies ont un métabolisme très réduit

de la surface. C'est le cas du poisson *Astyanax* qui, s'il a drastiquement réduit ses phases de sommeil, a montré en laboratoire la persistance d'un rythme circadien. Mais pour les troglobies anciens, coupés du monde extérieur depuis des millions d'années, les cycles ont en grande partie disparu », ajoutent Tristan Lefébure et Pierre Marmonier.

Mondes à part, hostiles, opaques, réfractaires à toute clarté, les grottes et les abysses, loin d'avoir

particulièrement vulnérable. Une modification apportée au milieu (par un pompage ou l'ouverture d'une carrière) peut d'un coup mettre à mal tout un écosystème et condamner à la disparition des espèces qui y étaient inféodées. Avoir su s'adapter à une obscurité permanente qui aurait raison de n'importe quelle espèce en surface, mais se retrouver démunis face au plus petit incident, c'est la fragilité paradoxale de ces créatures des ténèbres. ●



^ Ces molécules organiques (en jaune) libérées par des roches profondes laissent penser que la vie a pu naître dans l'obscurité complète.

Pourquoi le moustique pique-t-il davantage ses proies la nuit ?

*Tout simplement parce que c'est un animal nocturne... et que ses capacités sont décuplées pendant la nuit. Des chercheurs de l'University of Notre Dame, aux États-Unis, ont récemment remarqué que chez les moustiques *Anopheles gambiae*, les protéines présentes dans les antennes et dans la trompe, qui captent les molécules odorantes de leurs proies, sont plus concentrées – et donc plus efficaces – la nuit que le jour. Elles sont logiquement plus abondantes au moment où le moustique, espèce nocturne, en a le plus besoin pour s'alimenter.*

P.-Y.B.



La vie a-t-elle émergé dans le noir ?

C'est ce que pensent les scientifiques. Car de nombreux indices permettent de dater l'apparition de la vie sur Terre à plus de 3,5 milliards d'années. Or, à cette époque, l'atmosphère ne protégeait pas encore la surface terrestre des rayons ultraviolets du Soleil, qui sont fatals aux cellules vivantes. À moins qu'elles n'aient été capables de résister à ces agressions, ce qui semble improbable, il faut donc que les premières formes de vie se soient assemblées à l'ombre ! Une des hypothèses les plus en vogue privilégie les sources hydrothermales situées sur les dorsales océaniques comme berceau potentiel des premières bactéries. Quelle meilleure protection solaire, en effet, que des kilomètres d'eau au-dessus de la tête ?

Certains penchent même pour une origine encore plus profonde, à l'intérieur même du manteau terrestre, sous le plancher océanique. C'est le cas de géobiologistes de l'Institut de physique du globe de Paris, qui ont observé des roches recueillies à plusieurs centaines de mètres dans le manteau et découvert une diversité incroyable de molécules organiques. Ce n'est qu'à la faveur d'une atmosphère enfin protectrice que les êtres vivants primitifs seraient montés goûter à la lumière du soleil. Après un petit tour à la surface, certains ont regagné l'obscurité des abysses et du monde souterrain pour s'y établir (voir p. 46). Mais à l'origine, c'est sûr, nous sommes des fils et filles de la nuit. C.L.



< Espèce nocturne, le moustique perçoit les odeurs plus intensément la nuit.

La lumière déprime-t-elle les animaux nocturnes ?

Oui, cet effet a été constaté sur les rats ! De la même manière que nous, animaux diurnes, subissons une dépression saisonnière due au manque de lumière quand arrive l'automne et que la longueur des jours diminue, les rats montrent plus d'anxiété et moins d'entrain quand les jours rallongent. Ils souffrent ainsi de déprime... estivale ! On constate, à l'inverse, qu'ils deviennent plus audacieux quand on les soumet à seulement 5 heures de lumière par tranche de 24 heures. D'après les chercheurs californiens qui ont mené l'étude, l'obscurité déclenche dans leur cerveau la production d'hormones stimulantes. C.B.

Les plantes sont-elles nocives la nuit ?

C'est une idée reçue ! Certes, comme tout être vivant, les plantes respirent en continu. Elles consomment donc de l'oxygène (O₂) et relâchent du dioxyde de carbone (CO₂). Le jour, ce phénomène est largement compensé par la photosynthèse, pendant laquelle les plantes captent le CO₂ et produisent de l'O₂. Mais la nuit, une fois la photosynthèse arrêtée faute de lumière, ne subsiste que la respiration. D'où l'idée qu'il est néfaste de dormir dans une pièce fermée avec une plante verte qui va pomper l'oxygène dont nous avons besoin et emplir l'espace de dioxyde de carbone qui nous est inutile. En fait, il n'y a absolument rien à craindre : même un bananier nain ou un petit oranger ne produira jamais autant de CO₂... qu'un être humain. Conclusion : il est plus nocif de dormir avec son conjoint qu'avec sa plante verte ! **E.C.**

^ Les plantes dégagent du CO₂ la nuit, mais pas au point d'être dangereuses.



Les oiseaux migrateurs volent-ils aussi la nuit ?

Oui, certains oiseaux de petite taille, comme la plupart des passereaux, profitent de la nuit pour migrer. L'intérêt ? Continuer de s'alimenter pendant la journée, minimiser les risques liés aux prédateurs, à l'hyperthermie, à la déshydratation, mais aussi économiser de l'énergie : la nuit, l'air est plus frais donc plus dense, et le vent est plus faible et moins variable. Malgré cela, les hirondelles (qui sont des passereaux) migrent exclusivement de jour. **C.B.**

Un animal à grands yeux est-il forcément nocturne ?

Non, les animaux qui courent très vite ont aussi intérêt à avoir des yeux de grande taille pour mieux éviter les obstacles. Des chercheurs texans ont même avancé en 2012 que c'est leur vitesse maximale et leur masse qui déterminent à 89 % la taille des yeux chez les mammifères. **C.B.**

Les animaux voient-ils les couleurs dans l'obscurité ?

En général, les animaux nocturnes, dont la vision est adaptée à la nuit, voient en noir et blanc. Mais certains papillons, comme le *Deilephila elpenor* (ou grand sphinx de la vigne), parviennent parfaitement à faire la différence entre des fleurs jaunes et bleues au clair de lune. **C.B.**



SOMMEIL, SANTÉ, PERCEPTION

LA BIOLOGIE DE LA NUIT

60

Anatomie d'une bonne nuit.

Pendant le sommeil, notre cerveau et notre organisme restent en ébullition.

68

Travail nocturne : la santé mise à rude épreuve. Vivre la nuit augmente les risques de pathologies graves.

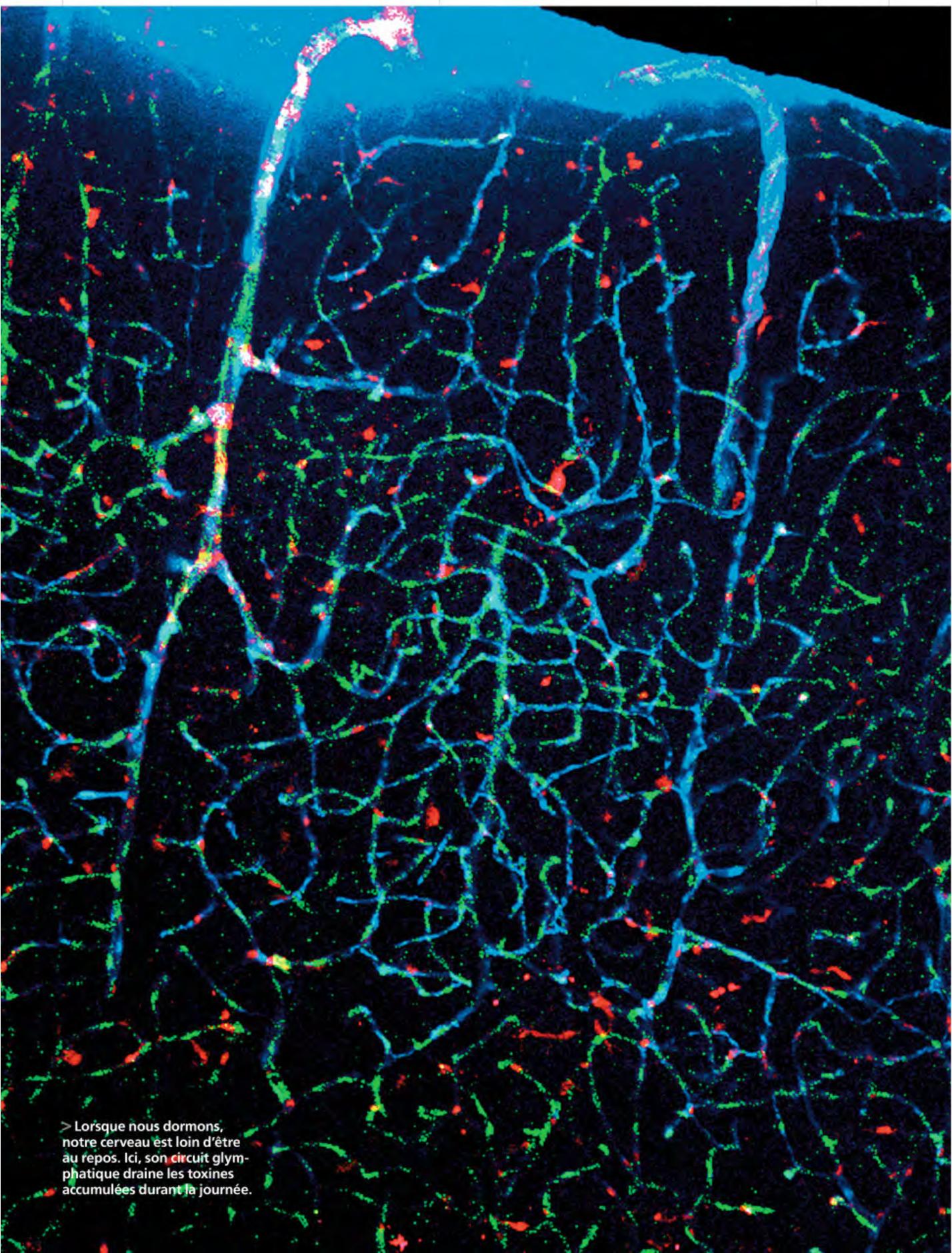
76

La nuit aiguise-t-elle nos sens? Des expériences étonnantes mettent en évidence une synergie entre nos 5 sens.

81

Questions | Réponses

La nuit crée-t-elle des illusions d'optique? Sans lumière, garde-t-on un rythme de 24h? Comment les Norvégiens vivent-ils leurs interminables nuits d'hiver? Etc.



> Lorsque nous dormons, notre cerveau est loin d'être au repos. Ici, son circuit glymphatique draine les toxines accumulées durant la journée.

S O M M E I L

Anatomie d'une bonne nuit

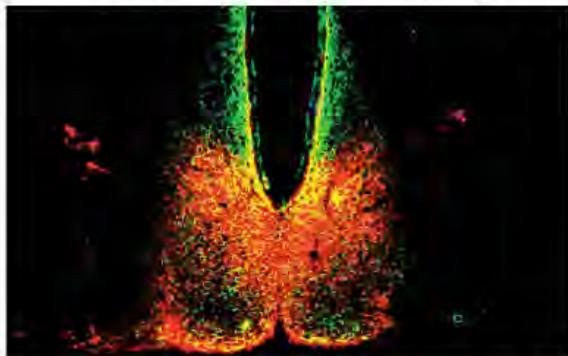
Derrière les apparences d'un sommeil paisible, notre cerveau reste en effervescence. Toute la nuit, il mémorise, se nettoie, régule notre métabolisme, et renforce nos défenses immunitaires. Sans relâche, étape par étape, il travaille...

PAR MARIE-CATHERINE MÉRAT

On compare souvent l'organisme humain à une machine. Le jour, la machine s'active. Et elle a fort à faire : traiter les stimulations sensorielles qui l'assaillent en permanence, encoder de nouvelles informations, exécuter les tâches en cours, anticiper celles à venir, réguler l'activité des différents organes... La nuit, la machine s'éteint et recharge passivement ses batteries. L'analogie est tentante, mais elle est inexacte. La nuit n'est pas qu'un temps de récupération. Même si notre conscience s'évanouit, l'organisme est loin de devenir passif et inactif. Certes, le corps est en position de repos, mais à l'intérieur du cerveau, c'est l'effervescence. Heure après heure, il réorganise, trie, stocke, nettoie, régule. Pour observer à la loupe ces mystérieux rouages en action, prenons le cas d'un individu modèle, en pleine santé, qui se coucherait à 23 heures et dormirait huit heures d'affilée. Et autopsions, heure par heure, sa nuit, bien plus mouvementée qu'il n'y paraît...

▶ 18:00

L'HORLOGE BIOLOGIQUE ENVOIE LES PREMIERS SIGNAUX DE FATIGUE



Le jour commence à baisser. Dans la rétine, des cellules d'un type particulier, les cellules ganglionnaires photosensibles, captent cette diminution d'intensité lumineuse et transmettent l'information aux noyaux suprachiasmatiques (photo). Situés dans l'hypothalamus juste au-dessus du croisement des nerfs optiques, ces deux petits groupes de neurones pas plus gros que deux grains de riz constituent notre horloge biologique interne. Cycle veille/sommeil, température corporelle, sécrétions hormonales... c'est grâce à elle que nos comportements et fonctions biologiques fluctuent selon un rythme de 24 heures. Les noyaux suprachiasmatiques envoient progressivement des signaux à la glande pinéale, à la base du cerveau. Laquelle se met à sécréter une hormone qui favorise l'endormissement, la mélatonine, aussi connue sous le nom d'« hormone du sommeil ».

▶ 22:00

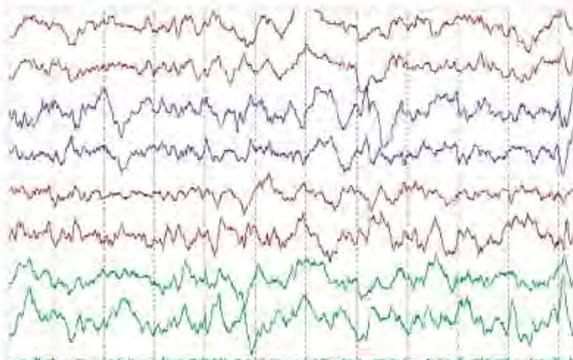
L'INTERRUPTEUR NEURONAL EST PRÊT À DÉCLENCHER L'ASSOUPISSEMENT

Bâillements, clignements des paupières, inattention... L'envie de dormir se fait sentir. Il faut dire que la mélatonine n'est pas seule à agir. Au fil de la journée, des substances hypnogènes (qui favorisent l'endormissement) se sont accumulées dans notre cerveau. Le jour, lorsque les neurones sont actifs, ils émettent en effet des décharges électriques, les potentiels d'action. Et pour ce faire, ils ont besoin de carburant, l'ATP. Or, la consommation de ce carburant génère une substance : l'adénosine, qui est libérée dans les tissus du cerveau. « Son accumulation dans certaines structures, comme l'hypothalamus et le cortex, est le reflet de la fatigue cérébrale », explique Thierry Gallopin, chef de l'équipe Réseaux neuronaux du sommeil au

laboratoire Plasticité du cerveau de l'ESPCI Paris-Tech. Parvenues à un certain seuil, ces substances hypnogènes activeraient progressivement les neurones responsables de l'endormissement localisés dans un petit noyau de l'hypothalamus, le noyau pré-optique ventro-latéral. En même temps, elles désactiveraient les structures responsables de l'éveil, levant du même coup l'inhibition que ces dernières exercent en journée sur les neurones de l'endormissement. « Ce mécanisme d'alternance d'éveil et de sommeil peut se comparer à un interrupteur neuronal, raconte Thierry Gallopin. Il suffit de faire pencher la balance, ne serait-ce qu'un tout petit peu, pour faire basculer tout le système. C'est pourquoi lorsqu'on passe dans le sommeil, on ne s'en rend pas compte. Cette transition se fait en une fraction de seconde. » Mais l'interrupteur neuronal n'est pas le seul mécanisme mis en jeu pour déclencher l'endormissement. C'est tout notre cerveau qui, la nuit venue, voit son activité bouleversée. « Un changement majeur survient au niveau du cortex, dont l'équilibre neurochimique est complètement modifié », résume Valérie Mongrain, directrice du laboratoire de physiologie moléculaire du sommeil à l'université de Montréal.

▶ 23:00

LE 1^{ER} STADE DE SOMMEIL DÉMARRE

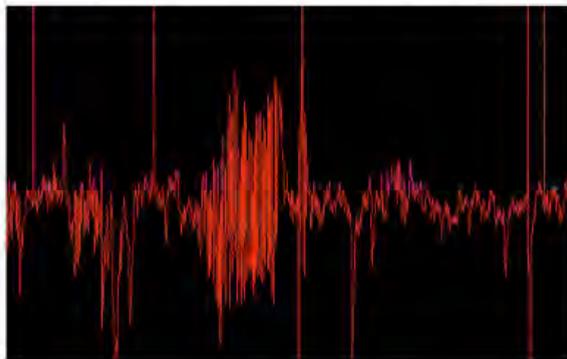


Tandis que nous sombrons dans le sommeil, la température de notre corps diminue. Notre fréquence cardiaque et notre respiration ralentissent. Relâchés, nos muscles n'effectuent plus que de rares mouvements involontaires. Notre conscience du monde extérieur faiblit et le sommeil se fait de plus en plus profond. Si l'on plaçait des électrodes à la surface de notre crâne pour enregistrer l'activité des neurones, le tracé d'électroencéphalographie (photo) montrerait une diminution progressive de la fréquence des ondes cérébrales en même temps qu'une augmentation de leur amplitude. Peu à peu, notre cerveau

se met à « battre ». Dans notre cortex, de larges populations de neurones adoptent un comportement synchrone, alternant des phases de silence puis de décharge électrique importante. D'où le nom donné à cette principale partie de nos nuits : le sommeil à ondes lentes (ou sommeil lent). Celui-ci est divisé en trois stades (1, 2, et 3-4) que nous traversons un à un, le premier correspondant au sommeil le plus léger. Le cerveau semble alors fonctionner au ralenti, comme anesthésié. Pourtant, il s'y passe des événements vitaux. La preuve : si l'on empêche des animaux de dormir pendant plusieurs semaines, ils finissent par mourir. Comme le précise Thanh Dang-Vu, directeur du laboratoire du sommeil de l'université Concordia et neurologue à l'institut universitaire de gériatrie de Montréal, « le sommeil n'est pas une simple phase de récupération passive. La nuit, l'activité neuronale est intense, mais organisée différemment ».

▶ 23:15

LES « FUSEAUX » ISOLENT LE CORTEX DE L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR

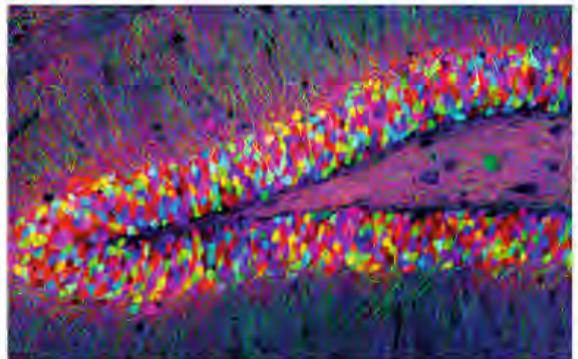


Au stade 2 du sommeil, alors qu'il est encore léger, des trains d'ondes à haute fréquence surviennent occasionnellement sur l'électroencéphalogramme. Ce sont les « fuseaux du sommeil » (photo). Produits par des interactions entre le thalamus et le cortex, ils isoleraient ce dernier de l'environnement extérieur. En période d'éveil, les informations sensorielles (sons, images...) transitent en effet par le thalamus avant d'atteindre le cortex où elles sont traitées. Un processus qui serait court-circuité par les fuseaux du sommeil. Dans quel but ? « Ainsi protégé, le cortex interagirait plus facilement avec des régions impliquées dans la mémorisation et le rappel de l'information, comme l'hippocampe », analyse Thanh Dang-Vu. Pour preuve : l'imagerie cérébrale montre que l'apparition de fuseaux est associée à une augmentation d'activation de l'hippocampe. Et si l'on demande à des sujets de se

livrer à des exercices de mémorisation, puis qu'on enregistre leur sommeil la nuit suivante, la densité de fuseaux augmente. Ce qui n'est pas le cas d'un groupe contrôle n'ayant pas suivi d'apprentissage particulier. « On pense aujourd'hui que les fuseaux sont des acteurs majeurs de la mémorisation qui se produit pendant le sommeil », continue le chercheur. Ce qui explique sans doute pourquoi nous passons tant de temps en sommeil lent léger. En durée cumulée, il occupe 50 % de nos nuits !

▶ 00:00

À SON STADE LE PLUS PROFOND, LE SOMMEIL PERMET LA MÉMORISATION



Désormais coupés du monde, nous atteignons le dernier stade du sommeil lent. Nous dormons alors très profondément. Quiconque voudrait nous réveiller y parviendrait difficilement. À la surface de notre cortex, de vastes populations de neurones affichent une activité oscillatoire. Telle une vague, ces ondes lentes, d'abord générées dans les régions frontales, se propagent progressivement vers l'arrière du cerveau. Si leur rôle précis fait encore l'objet de spéculations, une chose est sûre : elles sont, elles aussi, cruciales concernant les processus de mémorisation. En renforçant les connexions entre l'hippocampe (photo), lieu de stockage transitoire des informations, et le cortex préfrontal, lieu de stockage à long terme, elles favoriseraient le transfert de l'un vers l'autre, et ainsi la consolidation des apprentissages. Une expérience, menée en 2007 par l'équipe de Jan Born à l'université de Lübeck, en Allemagne, appuie largement cette hypothèse : dans un premier temps, les scientifiques ont demandé à 13 volontaires d'apprendre 46 paires de mots. Puis au début de la nuit suivante, ils ont appliqué à certains d'entre eux des stimulations électriques transcrâniennes, via des électrodes situées de part et d'autre de leur crâne, dans le but de renforcer les ondes lentes de leur sommeil. Le lendemain, les sujets stimulés se rappelaient

KENNETH STAT UNIV, DPT. OF BIOLOGICAL SCIENCES - DR. T. WEISSMAN, HARVARD UNIV.

10 % de mots de plus que la veille au soir, contre seulement 5 % chez les individus non stimulés.

Durant cette période de la nuit, notre cerveau « jouerait » donc les événements vécus pendant la journée, pour mieux les intégrer. L'équipe de Matt Wilson, du Massachusetts Institute of Technology (MIT), l'a magistralement démontré chez des rats, dans une expérience devenue célèbre. Tandis que les animaux se déplaçaient dans un labyrinthe, les scientifiques ont enregistré la séquence d'activation de certains neurones – les cellules de lieu – de leur hippocampe. Cette région cérébrale, nichée au cœur du cerveau, joue un rôle clé dans la mémorisation mais aussi dans la navigation spatiale. De façon surprenante, ces mêmes cellules, qui en période d'éveil s'activent sélectivement en fonction de l'endroit où se trouve l'animal, se sont à nouveau activées en accéléré pendant le sommeil lent, qui plus est selon la même séquence. Signe que le cerveau était en train de mémoriser l'activité pratiquée quelques heures plus tôt. « *Cela n'a jamais été démontré, mais on suppose que la même chose se passe chez l'homme* », observe Antoine Adamantidis, chercheur à l'institut universitaire en santé mentale Douglas, au Canada.

LE RÔLE CLÉ DE L'HORMONE DE CROISSANCE

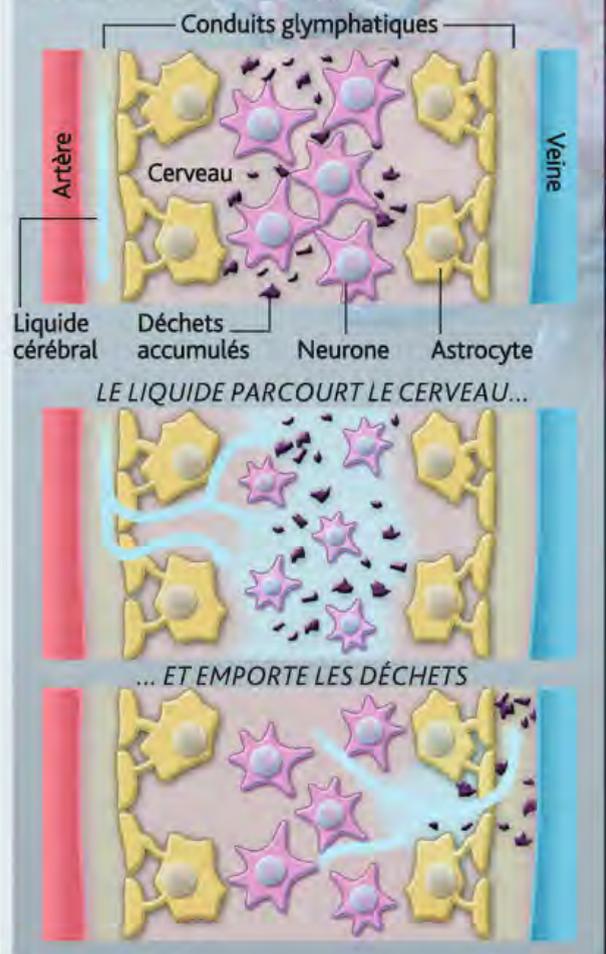
Mais le sommeil lent ne serait pas uniquement impliqué dans la mémorisation. Il permettrait également à notre cerveau, et même à tout notre corps, de récupérer de la fatigue accumulée pendant la journée. Plusieurs études scientifiques l'attestent : plus une zone cérébrale est sollicitée pendant l'éveil et plus les ondes lentes enregistrées dans cette même région sont intenses la nuit suivante. « *Si quelqu'un utilise beaucoup son cortex frontal durant la journée, parce qu'il a passé son temps à réaliser des équations mathématiques, par exemple, c'est dans cette région cérébrale que le sommeil sera le plus profond* », explique Valérie Mongrain. C'est aussi pendant cette phase du sommeil que notre hypophyse, une petite glande située à la base du cerveau, sécrète l'hormone de croissance. Nécessaire à la croissance pendant le sommeil de l'enfant, elle joue aussi de nombreux rôles à l'âge adulte : réparation des tissus, régulation des taux de sucre dans le sang, restauration énergétique du système nerveux central, stimulation du système immunitaire... « *Ce pic de sécrétion en début de nuit pourrait exercer un effet protecteur, en réponse aux agressions multiples accumulées durant la journée* », observe Myriam Kerkhofs, responsable du laboratoire du sommeil de l'hôpital Vésale de Charleroi (Belgique).

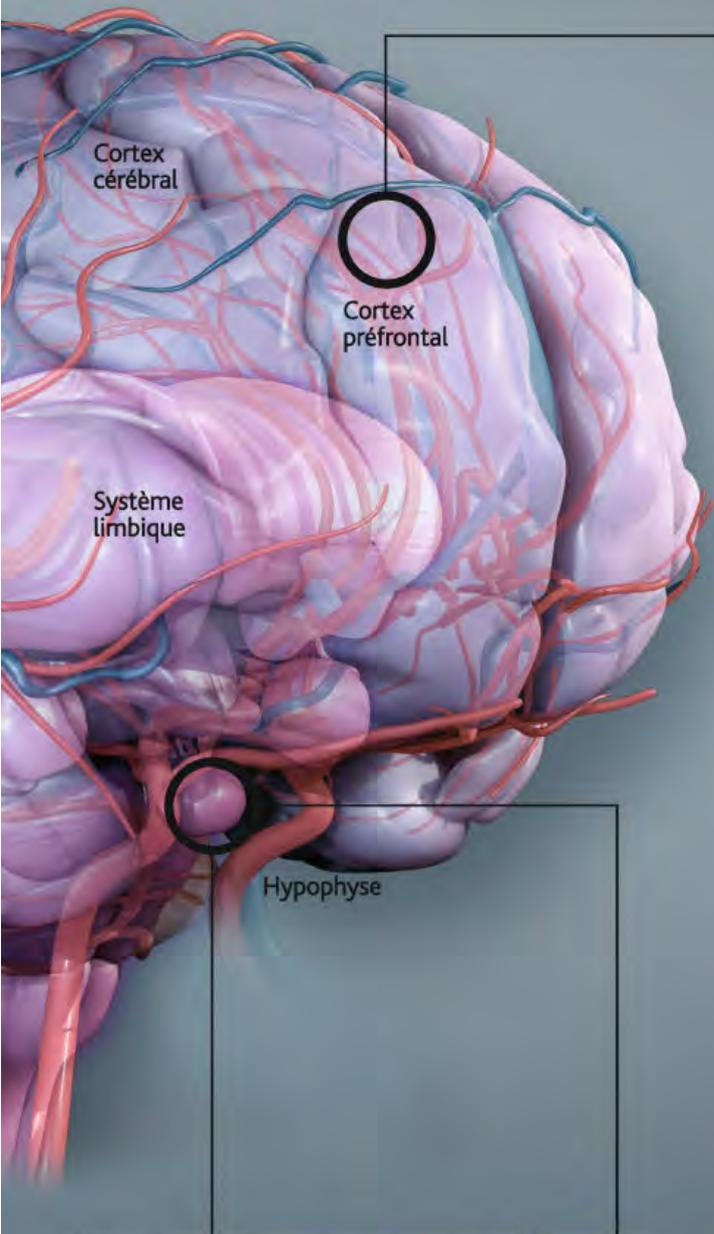
MICHEL SAEMANN

Les 4 grands travaux du cerveau pendant la nuit

1. Le nettoyage

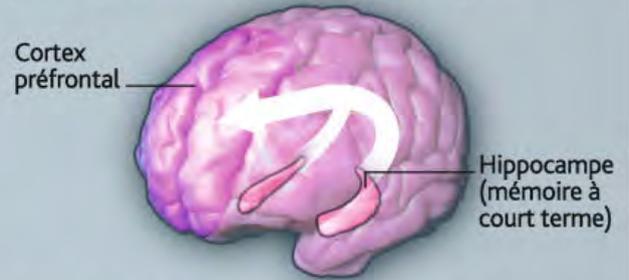
Pendant le sommeil, l'espace compris entre les cellules du cerveau augmente d'environ 60 %. Ainsi, le flux de liquide céphalorachidien circule plus profondément dans le tissu cérébral et élimine les déchets toxiques issus de l'activité cérébrale diurne par le système glymphatique.



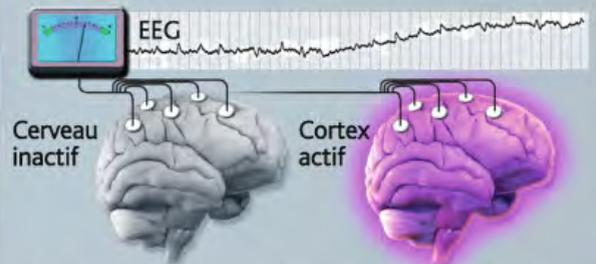


2. La mémorisation à long terme

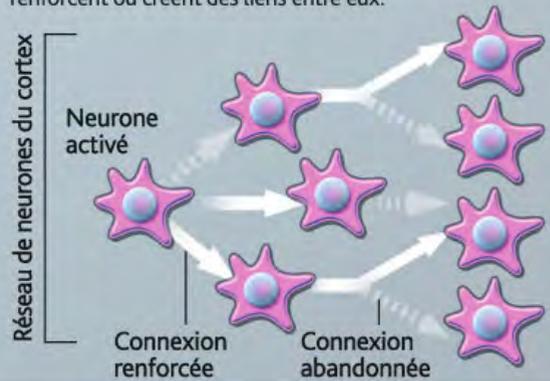
Pendant la nuit, la mémoire à court terme, stockée provisoirement dans l'hippocampe, transfère son contenu vers le cortex préfrontal, lieu de stockage de la mémoire à long terme.



Ce transfert est réalisé pendant le sommeil profond à l'occasion de vagues d'activation du cortex, les « ondes lentes », que l'on détecte à l'électroencéphalogramme (EEG).

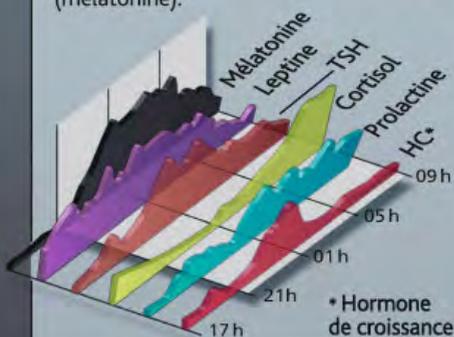


Ces ondes lentes correspondent à des oscillations synchrones de vastes populations de neurones qui, à cette occasion, défont, renforcent ou créent des liens entre eux.



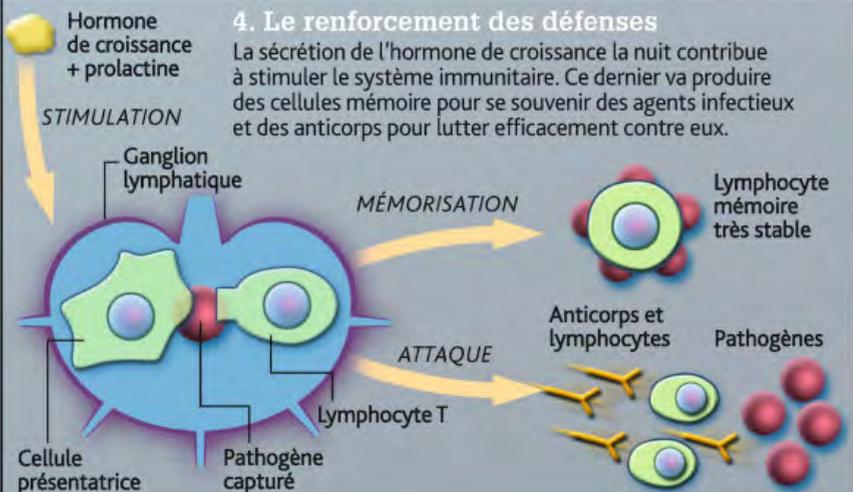
3. La régulation du corps

La nuit, les hormones contrôlent le métabolisme (cortisol, HC*), l'appétit (leptine), le système immunitaire (prolactine, HC*), la thyroïde (TSH), les rythmes biologiques (mélatonine).



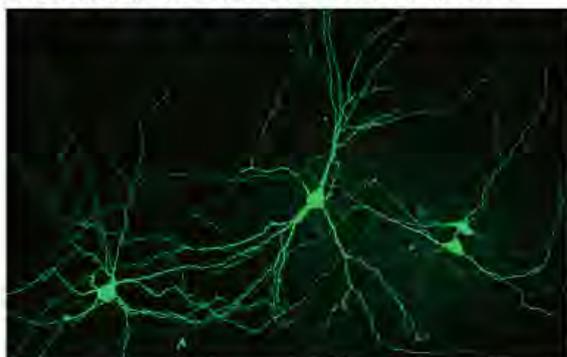
4. Le renforcement des défenses

La sécrétion de l'hormone de croissance la nuit contribue à stimuler le système immunitaire. Ce dernier va produire des cellules mémoire pour se souvenir des agents infectieux et des anticorps pour lutter efficacement contre eux.



▶ 00:30

LES PREMIERS RÊVES SURVIENNENT



Au bout d'une heure et demie de sommeil environ, un phénomène étonnant se produit : le calme du sommeil lent laisse place à une intense agitation interne. Si l'on se fiait au tracé de notre électro-encéphalogramme, montrant un cerveau en pleine activité, on nous croirait éveillés. Or, il n'en est rien : sur le plan musculaire, nous sommes complètement paralysés. Il n'y a que les yeux qui, derrière nos paupières closes, sont animés de mouvements rapides. Les fréquences cardiaque et respiratoire augmentent, de manière irrégulière. La température du corps n'est plus correctement régulée. De vives sensations (visuelles, auditives...) sont générées de l'intérieur. La consommation d'oxygène du cerveau est égale, voire supérieure à celle de l'éveil. Et l'amygdale, une structure impliquée dans le traitement des émotions, est très active. Nous sommes entrés en phase de « sommeil paradoxal » et nous rêvons. Cette activité onirique reste un grand mystère pour les scientifiques. Quel est son rôle ? Les rêves sont-ils un défouloir destiné à réguler les émotions ? Servent-ils à purger le cerveau des informations parasites qui risqueraient de le surcharger ? Ou ne sont-ils qu'un sous-produit de l'activité aléatoire des neurones pendant le sommeil ?

Une chose est sûre, l'heure est au remaniement des connexions neuronales (photo). Dans notre hippocampe, la machinerie cellulaire bat son plein. Des gènes sont activés, des protéines produites, tous impliqués dans la plasticité cérébrale, ce processus qui permet au cerveau de créer, défaire, réorganiser des réseaux de neurones suite à un apprentissage. Une hypothèse fréquemment évoquée est que tout comme le sommeil lent, le sommeil paradoxal est un acteur clé de la mémoire. Mais tandis que le premier servirait à traiter les données déclaratives (textes lus, paroles entendues...), le second servirait au traitement des apprentissages moteurs complexes et des informations émotionnelles. « Dans les deux

cas, la mémoire est favorisée, mais pas le même type de mémoire », résume Thierry Gallopin. Autre possibilité : les sommeils lent et paradoxal joueraient des rôles complémentaires dans un même processus de mémorisation. Le premier ferait le tri entre les souvenirs, renforçant les plus pertinents et effaçant les moins utiles. Puis le second stockerait le résultat de cette sélection dans les réseaux adéquats. Une théorie confortée par l'expérience suivante : si l'on fragmente le sommeil en bouleversant la succession de ses phases (lent, puis paradoxal), les facultés de mémorisation des individus diminuent. Ce qui n'est pas le cas si l'on fragmente leur sommeil sans toucher à la structure des cycles.

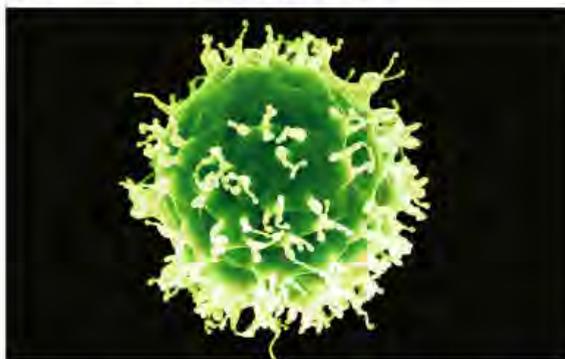
▶ 00:45

UN MICRORÉVEIL MARQUE LA FIN DU PREMIER CYCLE DE SOMMEIL

Il n'est pas rare qu'à la fin de ce premier cycle (un peu plus d'une heure de sommeil lent, suivi de dix minutes de sommeil paradoxal), surgisse un très bref réveil. On en retrouvera à la fin de chaque cycle suivant, et ils ne laissent généralement aucun souvenir. Au total, quatre à cinq cycles de sommeil se succéderont au cours de la nuit, marqués par un allongement progressif de la durée du sommeil paradoxal, qui atteint 30 à 40 minutes en fin de nuit.

▶ 01:30

L'IMMUNITÉ SE RENFORCE

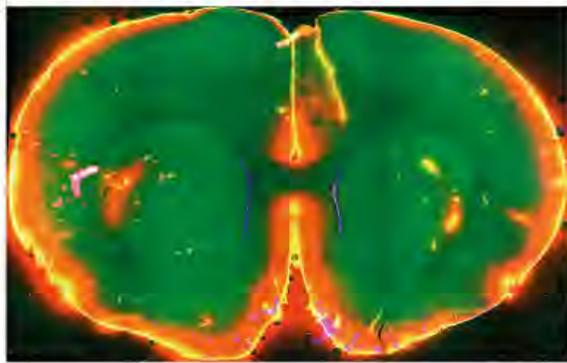


Alors que nous dormons à nouveau profondément, les processus de mémorisation se poursuivent dans notre organisme. Ils s'appliquent non seulement au cerveau, mais aussi au système immunitaire : les agents infectieux rencontrés le jour précédent sont mémorisés. L'immunité dite adaptative, qui permet à l'organisme de garder la trace des infections contractées pour mieux les combattre dans le futur, se construit ainsi pendant la nuit. L'équipe

de Jan Born, professeur à l'université de Tübingen (Allemagne), l'a démontré en 2011 : après une vaccination contre l'hépatite A, qui revient à inoculer une version inoffensive du virus, la production de lymphocytes T auxiliaires augmente la nuit suivante, durant le sommeil lent. Ces cellules immunitaires (photo) jouent un rôle capital : elles stimulent la production d'anticorps dirigés spécifiquement contre le virus. Or, chez des individus que l'on a empêchés de dormir, le taux de lymphocytes auxiliaires est fortement diminué. « *Comme le système nerveux, le système immunitaire profite des conditions d'isolement que procure le sommeil pour favoriser les réponses immunes adaptatives et donc améliorer la mémoire immunologique* », conclut Jan Born dans l'article consacré à cette expérience.

▶ 02:00

LE CERVEAU SE PURIFIE



Dans notre cerveau, un remue-ménage semble se mettre en place : « *Le milieu extracellulaire se dilate, les cellules se rétractent pour laisser le circuit lymphatique du cerveau drainer toutes les toxines accumulées pendant la journée. Un peu comme si l'on déplaçait les meubles pour laisser place au service de nettoyage* », raconte Thierry Gallopin. Cette hypothèse de détoxification cérébrale a été proposée il y a quelques mois par Maiken Nedergaard, de l'université de Rochester, à New York. Les scientifiques de son équipe ont utilisé des techniques d'imagerie sophistiquées pour visualiser le flux de liquide circulant dans le cerveau de souris éveillées ou endormies (photo). Selon leurs estimations, en période d'éveil, l'espace compris entre les cellules cérébrales représenterait 14 % du volume du cerveau. Mais en période de sommeil, il s'agrandirait jusqu'à en représenter 23 %, soit une augmentation d'environ 60 %. Cette réorganisation interne permettrait au liquide céphalorachidien, qui baigne le cerveau, de circuler plus en profondeur dans le tissu

cérébral et d'éliminer ainsi toutes les molécules qui l'encombrent : neurotransmetteurs, impuretés, substances hypnogènes... Emportées dans le circuit glymphatique, l'équivalent cérébral du système lymphatique, ces toxines seraient alors renvoyées dans le sang pour être éliminées par le foie.

▶ 05:00

LE CORPS SE PRÉPARE À L'ÉVEIL



Après avoir atteint son point le plus bas, notre température corporelle remonte. Alternant les phases de sommeil léger et de sommeil paradoxal, notre sommeil est plus fragile. Dans le sang, le taux de mélatonine diminue, tandis que celui du cortisol (photo), impliqué dans la mobilisation des réserves énergétiques, augmente. Notre corps se prépare doucement à l'éveil. Protéines, lipides, glucides et sels minéraux sont libérés dans le sang, prêts à subvenir aux besoins d'un organisme en activité. Pour nous éviter toute sensation de faim nocturne, la leptine, hormone de satiété, a été sécrétée une bonne partie de la nuit par les cellules adipeuses. Ses taux déclinent désormais. Inversement, la ghréline, à l'action opposée, commence à être sécrétée par l'estomac, aiguissant une sensation de faim.

▶ 07:00

LES BATTERIES SONT RECHARGÉES

Après huit heures de sommeil (en réalité de six à dix, selon les besoins de chacun), nous nous levons avec la sensation d'avoir rechargé les batteries. Une expression qui se justifie sur un plan biologique : même si la récupération n'est pas la seule fonction du sommeil, elle en est une importante. Au réveil, nos muscles sont reposés, nos réserves énergétiques reconstituées, notre cerveau débarrassé des toxines qui l'encombraient... Vigilance, humeur, performances cognitives sont à bloc. L'organisme est prêt pour une nouvelle journée d'activité. ●





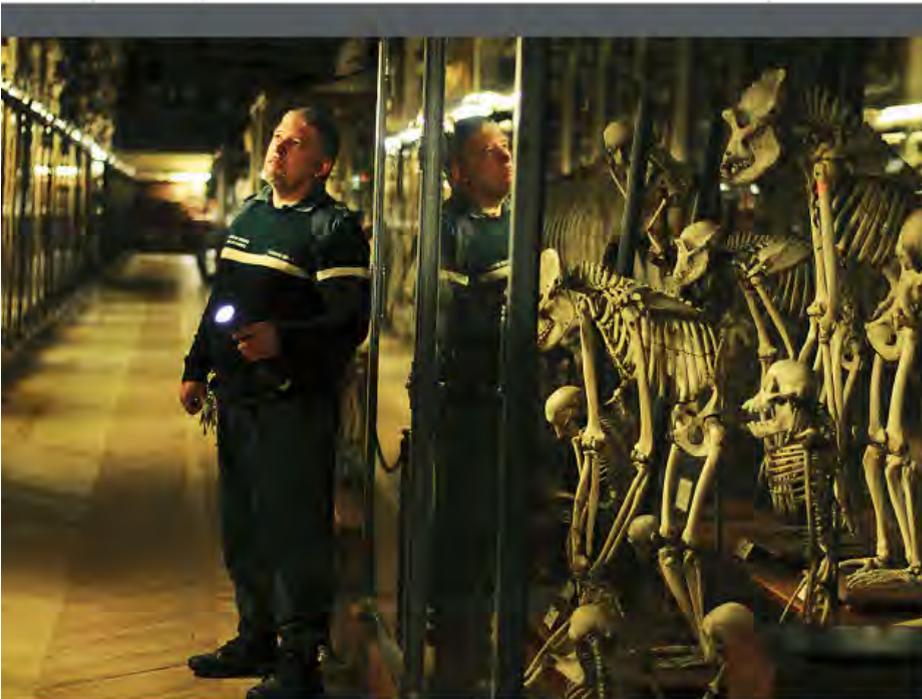
TRAVAIL NOCTURNE

La santé mise à rude épreuve



Dans les pays occidentaux, on compte de 15 à 20 % de travailleurs de nuit. Or, vivre la nuit augmente les risques de pathologies graves, dont le diabète et les cancers.

PAR PIERRE-YVES BOCQUET
PHOTOS DE JEAN-MICHEL TURPIN



Boulangers, éboueurs, imprimeurs, chauffeurs de taxi, médecins urgentistes, éleveurs, ouvriers à la chaîne, personnel d'aéroport, danseurs de cabaret... Ils sont nombreux, les travailleurs de nuit. Très nombreux. Dans les pays occidentaux, de 15 à 20 % de la population active est assujettie à des horaires décalés. En Europe, 19 % des travailleurs sont sur le pont au moins deux heures par mois entre 22h et 5h du matin. Tout comme près de 15 millions de personnes aux États-Unis. Et 3,6 millions de salariés en France, où le nombre de femmes travaillant la nuit a doublé en vingt ans, à la faveur de la levée des restrictions au travail de nuit pour ces dernières, en 2001. Les professions les plus concernées ? Les services (hôtellerie-restauration en particulier), le secteur

épreuve. Et pas seulement parce que la somnolence leur fait prendre des risques inconsidérés durant ces périodes d'éveil nocturne. Le non-respect du rythme veille/sommeil imposé par l'alternance jour/nuit sur une période de 24 heures (ce que les chronobiologistes appellent le rythme circadien) entraîne des troubles digestifs, du stress, des syndromes dépressifs, une majoration de 40 % du risque de maladies cardiovasculaires et de 50 % du risque de diabète de type 2 et d'obésité... et même des cancers.

Dès le milieu des années 1990, des enquêtes épidémiologiques réalisées aux États-Unis sur des populations d'hôtesse de l'air et d'infirmières ont détecté un risque accru de cancer du sein chez ces femmes particulièrement exposées à des horaires décalés. Depuis, d'autres études sont venues les

Dans les pays européens, 19 % des travailleurs sont sur le pont au moins deux heures par mois entre 22h et 5h du matin

public (police, professions de santé) et l'industrie. Ils sont nombreux, donc, et ils sont en danger. Car le constat est désormais clairement établi par les épidémiologistes : vivre la nuit est mauvais pour la santé. Bien souvent sans le savoir, ces travailleurs, ainsi que les personnes qui vivent la nuit par convenance personnelle ou parce qu'elles souffrent de pathologies comme l'insomnie, mettent leur corps à rude

confirmer, conduisant en 2007 le Circ (l'organisme de l'Organisation mondiale de la santé chargé des recherches sur le cancer) à classer le travail de nuit comme un « cancérigène probable », au même titre que l'exposition aux rayonnements ultraviolets ou aux émanations issues du raffinage du pétrole.

Pourquoi juste « probable », au vu de la quantité d'études concordantes ? « La majorité des études



épidémiologiques montre une corrélation, mais ce n'est pas suffisant pour établir la preuve formelle d'un lien de cause à effet. Ceci dit, si les études scientifiques parviennent à préciser ce lien, il se peut que le classement du Circ évolue dans les années à venir », explique Pascal Guénel, directeur de recherche à l'Inserm.

UNE DETTE DE SOMMEIL

Ce médecin, co-auteur de l'étude Cecile (pour cancer du sein en Côte-d'Or et Ile-et-Vilaine et environnement), menée en France sur 1232 femmes touchées par le cancer du sein, a essayé de mesurer l'ampleur de ce risque. Le résultat, publié en 2012 dans l'*International Journal of Cancer*, est éloquent : selon cette étude, le travail de nuit se traduit par une augmentation de 35 % du risque de contracter la maladie. Et même de 40 % chez les femmes ayant travaillé de nuit sur de longues périodes, de quatre ans et demi ou plus.

Les scientifiques commencent pourtant à peine à lever le voile sur les raisons de tels effets du travail de nuit sur la santé. Même si de sérieux soupçons pèsent principalement sur la désynchronisation de l'horloge biologique et la dette de sommeil. La majorité des personnes qui travaillent la nuit dort en effet non seulement de façon décalée, mais aussi en moindre quantité. « Les études montrent que

ILS SONT 3,6 MILLIONS EN FRANCE

En 2008, le photographe Jean-Michel Turpin partait à la rencontre des travailleurs nocturnes. On oublie souvent ceux qui, dans l'ombre, veillent sur nos nuits ou préparent nos lendemains. Ils sont pourtant 3,6 millions de salariés en France à lutter contre leur rythme biologique naturel entre minuit et 5h du matin. Ce qui représente environ 21 % des salariés hommes et 9 % des femmes salariées. Les trois quarts le font dans les services (secteur public ou privé), principalement dans la santé, la sécurité ou les transports. Pour près de la moitié d'entre eux – 1,7 million –, il s'agit de leur rythme habituel, les autres l'adoptant de manière occasionnelle.

NORDINE, 46 ANS, GARDIEN

Agent de sécurité depuis onze ans, il travaille de nuit 8 à 10 fois par mois.

« La difficulté est de lutter contre la somnolence, car les nuits sont calmes, surtout dans les bureaux. Pour tenir le coup, je consomme un café et une cigarette toutes les heures et demie, et je bois un ou deux cocos dans la nuit. J'arrive à bien gérer mon repos avant et après, et je ne constate pas de problème de santé. C'est fatiguant, c'est vrai, mais beaucoup moins que le travail de maçon que je pratiquais avant, qui est extrêmement pénible physiquement. En plus, j'ai l'avantage de pouvoir profiter des journées où tout est ouvert, et j'apprécie le gain de salaire associé à ces horaires. »



ces personnes dorment en moyenne une heure de moins par 24 heures, soit l'équivalent d'une nuit en moins par semaine, et de 40 nuits par an », constate Damien Léger, président de l'Institut national du sommeil et de la vigilance (INSV). Les travailleurs de nuit doublent donc le déficit chronique d'une heure de sommeil dont souffrent déjà une majorité de Français, qui ne dorment en moyenne que 7 heures au lieu des 8 recommandées. Et ce n'est pas tout : ils dorment aussi plus mal, avec un repos diurne fragmenté et perturbé par la lumière du jour et l'activité du reste de la famille.

Or, un mauvais sommeil est à l'origine de troubles bien connus tels que l'obésité, le diabète, la baisse des performances cognitives (attention, apprentissage...), et la chute de la production d'anticorps, qui favorise les risques d'infections ou de cancers

en troublant les mécanismes de défense immunitaire (lire notre *Hors-Série* de mars 2013). Il est donc logique que l'on retrouve une grande partie de ces pathologies chez les actifs nocturnes.

L'HOMME EST UNE ESPÈCE DIURNE

Mais cela n'explique pas tout. Les résultats montrent que même chez les personnes qui respectent un quota acceptable de repos, le travail de nuit s'avère tout de même délétère. Et les scientifiques pensent que le simple fait de perturber le rythme circadien peut, à lui seul, affecter l'organisme. « *L'homme est une espèce diurne : il est programmé pour être actif la journée et au repos la nuit* », résume Damien Léger. En clair, nos gènes ont hérité des habitudes de nos ancêtres chasseurs-cueilleurs qui, pendant des dizaines de milliers d'années, ont respecté l'alternance jour/nuit imposée par la rotation de la Terre autour du Soleil. Aller à l'encontre de ce rythme revient à forcer notre organisme à fonctionner à contre-courant de son tempo naturel.

Pour le comprendre, il faut se pencher sur le fonctionnement de notre horloge biologique interne. Celle-ci s'appuie en grande partie sur la luminosité, via des capteurs situés dans les yeux. Ces derniers détectent les variations de lumière et permettent à l'organisme de se caler sur l'alternance jour/nuit pour réguler l'activité de nombreuses fonctions physiologiques. C'est ainsi qu'à la nuit tombée notre corps déclenche une sécrétion d'hormones impliquant une

HENRI, 68 ANS, EX-CONTREMAÎTRE

Ce retraité a fait les trois-huit pendant quinze ans dans une usine de mécanique automobile.

« Nous étions volontaires, mais certains arrêtaient car ils ne supportaient pas ce rythme. Personne ne nous avait parlé de risques sur la santé. Je n'ai jamais ressenti d'impact direct, même s'il m'arrivait d'oublier le contenu de notes de service lues pendant les postes de nuit. Le plus dur a été de repasser en deux-huit, puis en poste de jour. Je me sentais lessivé en fin de journée. J'ai mis plus de trois ans à me recalculer. »



cascade de réactions censées conduire au sommeil, comme l'abaissement de la température corporelle, de la pression cardiovasculaire et du rythme cardiaque, la relaxation musculaire et le ralentissement des activités gastro-intestinales.

Or, même si les capteurs corporels détectent une activité nocturne, notamment par une exposition à la lumière ou une prise alimentaire, le chef d'orchestre de ce mécanisme, l'horloge biologique, ne peut pas se décaler de façon instantanée comme on reculerait l'aiguille d'une pendule. Il faudra donc plusieurs jours à un travailleur de nuit pour rééquilibrer son horloge. Et c'est pourquoi les chercheurs suspectent le système des trois-huit

Comment un dérèglement de l'horloge biologique peut-il favoriser l'émergence de pathologies comme le cancer? L'exposition à la lumière jouerait un rôle primordial dans ce mécanisme en perturbant la sécrétion des hormones comme la mélatonine. Cette dernière est sécrétée uniquement la nuit, en l'absence de lumière, par la glande pinéale, située dans le cerveau. Elle régule la production de nombreuses autres, parmi lesquelles les œstrogènes, présents en plus grande quantité chez la femme que chez l'homme, qui interviennent dans le développement des seins. Les résultats de plusieurs études récentes laissent à penser que la baisse des niveaux de mélatonine (due à une

Selon une étude menée sur des Françaises en 2012, le travail de nuit accroît de 35 % le risque de développer un cancer du sein

(travail le matin, l'après-midi ou la nuit, en roulement alterné) d'être encore plus nocif que le travail de nuit permanent, puisqu'il implique des décalages répétés de l'horloge biologique. « Notre étude Cecile a mis en évidence que le risque de cancer du sein s'avère plus élevé chez les femmes travaillant moins de trois nuits par semaine que chez celles qui travaillent en permanence de nuit. Cela peut s'expliquer par le fait qu'elles subissent des changements de rythmes plus fréquents », précise Pascal Guénel. Rien d'anodin donc au fait de ne travailler que quelques nuits par mois.

exposition lumineuse la nuit) peut favoriser les cancers hormono-dépendants comme celui du sein.

La première d'entre elles a été menée en 2005 par David Blask, du Bassett Research Institute à New York. Celui-ci a injecté à des rats porteurs de tumeurs du sein du sang prélevé sur des femmes saines à différents moments de la journée : de jour, de nuit dans l'obscurité, et de nuit après une exposition de 90 minutes à une lumière artificielle intense. Résultat : la croissance des tumeurs s'est avérée plus soutenue chez les rats perfusés avec du sang collecté de nuit à la suite d'une exposition



lumineuse (pauvre en mélatonine) que chez ceux perfusés avec du sang prélevé dans l'obscurité. Des conclusions qui démontrent aussi qu'une exposition à la lumière, même relativement courte, suffit à faire baisser significativement la sécrétion de mélatonine. D'autres cancers, comme celui de l'endomètre chez la femme et celui de la prostate chez l'homme, pourraient également être favorisés par ce même mécanisme.

PRÉFÉRER LA LUMIÈRE ROUGE

Outre l'intensité et le temps d'exposition, la couleur de la lumière jouerait aussi un rôle important dans les pathologies des travailleurs de nuit. Notamment les syndromes dépressifs, sur lesquels il n'existe pas encore de consensus scientifique. C'est ce que suggère une étude publiée en août dernier dans

le *Journal of Neuroscience*. Une équipe de chercheurs américains de la Ohio State University de Columbus a étudié le rôle des cellules ganglionnaires photosensibles de la rétine de l'œil chez les hamsters. Ces cellules appelées ipRGC, présentes chez l'homme et chez l'animal, ne participent pas directement à la vue, mais envoient des informations au cerveau sur la lumière ambiante. Selon les chercheurs, ces cellules impliquées dans la régulation de l'horloge circadienne joueraient aussi un rôle dans le contrôle de l'humeur et des émotions. Pendant quatre semaines, des hamsters ont été exposés de nuit soit à de l'obscurité, soit à de la lumière rouge, blanche ou bleutée. Les scientifiques ont ensuite observé les comportements des hamsters indiquant une altération de l'humeur. Comme attendu, c'est l'obscurité nocturne qui a eu la meilleure influence sur l'humeur. Mais, fait plus surprenant, alors que lumière rouge semble peu perturbatrice, la lumière blanche, et encore plus la bleue, affectent fortement l'humeur des hamsters en provoquant des syndromes dépressifs.

Selon cette équipe américaine, ces résultats suggèrent que la lumière rouge serait plus appropriée que la blanche habituellement utilisée pour l'éclairage des locaux où des personnes travaillent de nuit. « *Les cellules ipRGC sont plus sensibles au bleu et au blanc qu'au rouge, chez l'animal comme chez l'homme. Néanmoins, les temps d'exposition à la lumière artificielle provoquant la baisse de la*

CHRISTOPHE, 53 ANS, URGENTISTE

Ce médecin du Samu travaille entre 6 et 10 nuits par mois depuis vingt-huit ans.

« Dans le secteur de la santé, le travail de nuit est une nécessité. Il est fréquent d'enchaîner une journée puis une nuit dans la foulée. Ou, en fonction des besoins de l'hôpital, de travailler successivement le matin, l'après-midi et la nuit en l'espace d'une même semaine, ce qui est extrêmement éprouvant et incompatible avec une vie de famille. Il faudrait s'assurer que personne n'ait à subir ce rythme tout au long de sa carrière. »



mélatonine et la dérégulation de l'horloge biologique pourraient être supérieurs chez l'humain », précise Tracy Bedrosian, co-auteur de cette étude.

Les conséquences du travail de nuit sur le métabolisme, en particulier sur l'obésité et le diabète de type 2, pourraient, quant à elles, être liées au fait que l'action de l'insuline – l'hormone chargée de réguler le taux de glucose dans le sang – est elle aussi modulée par le rythme circadien. Selon une étude publiée dans *Current Biology* en février 2013, par une équipe de la Vanderbilt University de Nashville aux États-Unis, le dérèglement de l'horloge biologique des souris a ainsi conduit à les rendre résistantes à l'insuline produite par le pancréas, et donc sujettes à une prise de poids et à

Enfin, la nuit peut aussi avoir un effet indirect sur la santé, lié à la fatigue et à la baisse de vigilance qu'elle suscite chez les travailleurs. L'INRS, l'institut français chargé de la prévention des risques professionnels, note une augmentation de la gravité des accidents du travail la nuit, même s'ils sont moins fréquents, et que les troubles du sommeil et de la vigilance multiplient par deux le risque d'accident lors des trajets domicile/travail.

Pour limiter ces risques, il est conseillé aux travailleurs de nuit de faire une sieste, lorsque cela est possible, durant leur poste, pour limiter la dette de sommeil et diminuer les erreurs d'attention. *« Il est aussi important que, de retour chez eux, ils veillent à respecter une obscurité totale durant*

Pour limiter les risques pour la santé, il est conseillé de faire une sieste durant le travail et de dormir dans l'obscurité totale

de l'hyperglycémie. Des résultats concordants avec ceux d'une étude publiée dans un supplément du magazine *Sleep*, en juin 2013, comparant les taux de glucose et d'insuline dans le sang de travailleurs diurnes et nocturnes. Cette étude révèle que, par rapport à ce qui est observé chez les travailleurs de jour, une séance de travail nocturne se traduit par une hausse de 16 % des pics de glucose et par une baisse de 33 à 40 % du taux d'insuline dans le sang 30 minutes après le repas ! Ce qui démontre un lien direct entre le travail de nuit et le diabète de type 2.

leur temps de sommeil diurne, pour reproduire l'alternance jour/nuit », ajoute Damien Léger de l'INVS. Des recommandations utiles pour la santé des personnes concernées, mais pas seulement... La baisse de vigilance peut avoir en effet des conséquences dramatiques : les accidents nucléaires de Tchernobyl et Three Miles Island, le naufrage de l'*Exxon Valdez* en Alaska, l'explosion de l'usine de pesticides Union Carbide à Bhopal, en Inde... toutes ces catastrophes industrielles ont eu lieu la nuit et sont imputables à des erreurs humaines. ●



P E R C E P T I O N

La nuit aiguise-t-elle nos sens ?

La vue est le sens qui prédomine chez l'homme.

Que se passe-t-il, alors, lorsque nous sommes plongés dans l'obscurité ?

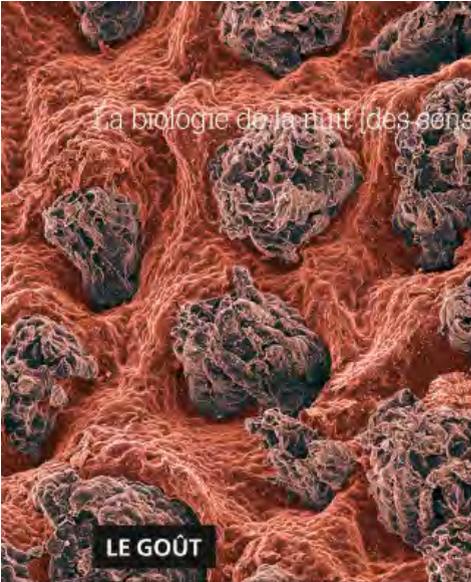
Ressentons-nous plus intensément avec nos quatre autres sens ?

Des expériences étonnantes nous éclairent.

PAR DENIS DELBECQ

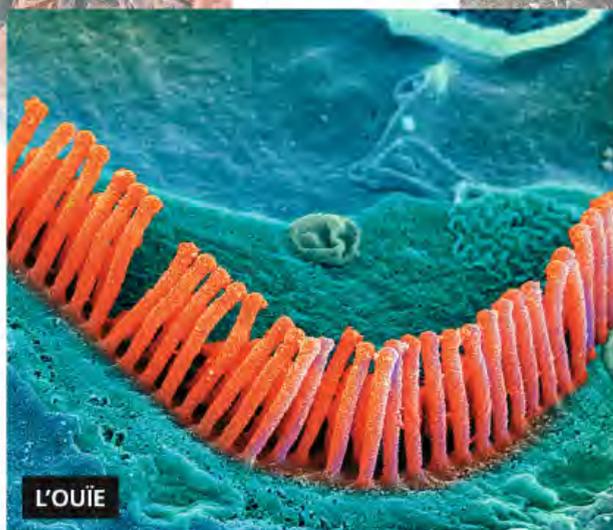
« **C**ette expérience m'a stupéfaite. Après être passée par un sas tapissé de rideaux noirs, je suis entrée dans la salle du restaurant. Elle était parfaitement obscure. Je n'y voyais rien, strictement rien, même après quelques minutes. Impossible de me faire une idée des lieux ou des convives ! Seuls mes voisins immédiats étaient localisables, à l'oreille et au toucher. Puis le premier plat est arrivé. L'odeur qui s'en dégageait était familière, je la reconnaissais clairement, mais j'étais incapable d'y associer un nom ou une image. Avec le goût, même problème. Après deux ou trois bouchées de cet aliment mystère, tout me paraissait insipide. Quant au vin, moi qui suis une habituée des dégustations, je n'arrivais à déterminer... s'il s'agissait de rouge ou de blanc ! » Ainsi témoigne une cliente, au sortir d'un restaurant proposant des dîners dans le noir total aux amateurs de frisson gastronomique. « Une expérience sensorielle inédite », propose la brochure...

FINEARTIMAGE/LEEMAGE©ADACP, PARIS 2014 - RENÉ MACRITTE, LES AMANTS - 1928



LE GOÛT

À La surface de la langue abrite environ 5000 bourgeons gustatifs. > L'oreille interne est tapissée de 16000 cellules ciliées qui amplifient les stimuli sonores.



L'OUÏE



LE TOUCHER

À La pulpe des doigts concentre environ 2000 terminaisons nerveuses par mm².

« Je m'attendais à ce que mes sens soient dopés par l'obscurité, et c'est l'inverse qui s'est produit. Et en sortant, je n'avais qu'une envie : aller dîner ! J'avais sûrement comblé ma faim, mais la sensation n'avait pas disparu. Comme si le fait de ne pas avoir vu mon repas revenait à ne pas l'avoir consommé. »

Que devenons-nous dans le noir ? En rendant la vue inopérante, que fait la nuit de nos autres sens ? Sont-ils ravivés par cette perte, prennent-ils le relais, comme on pourrait s'y attendre, ou sont-ils au contraire éteints par le déclin du jour ? « Il y a deux avis très opposés sur cette question, et personne n'a pu trancher, avertit Sylvie Chokron, de l'unité Vision et Cognition à la fondation Adolphe de Rothschild, à Paris. On peut supposer que, grâce à une meilleure concentration par exemple, l'audition va s'améliorer de nuit. Mais à l'inverse, on peut penser que sa performance intrinsèque sera dégradée, car l'efficacité d'un sens dépend aussi de l'intégrité des autres. La perception est le résultat

d'une intermodalité sensorielle qui fait que, par exemple, certaines personnes ont l'impression de moins bien entendre quand elles ne portent pas leurs lunettes. De même, la perception du goût d'un aliment est influencée par sa couleur ou son caractère croquant. »

Toulouse. Le mouvement des lèvres renseigne sur le son qui va sortir de la bouche avant même qu'il ait été émis. C'est encore plus net quand on écoute dans un environnement bruyant, ou quand on entend parler dans une langue que l'on maîtrise mal : plus l'information transmise par un sens est ambiguë, plus elle est proche de son seuil de perception, et plus l'intermodalité des sens est importante. La nuit, du fait d'une vision réduite, le rôle de l'audition dans la construction des perceptions est renforcé. » Même de jour, lorsque l'œil est peu performant en vision périphérique, l'oreille vient compenser ses faiblesses : « Un piéton détectera mieux le danger d'une voiture qui entre dans son champ de vision s'il l'entend que s'il écoute de la musique au casque », ajoute le chercheur.

Si les sens se renforcent ainsi les uns les autres, que se passe-t-il dans le cerveau lorsque la nuit nous prive de la vision ? Car, à la différence des animaux nocturnes (voir p. 28), l'homme ne dis-

Les aveugles sont souvent plus efficaces que les voyants pour identifier les odeurs et ont plus fréquemment l'oreille absolue

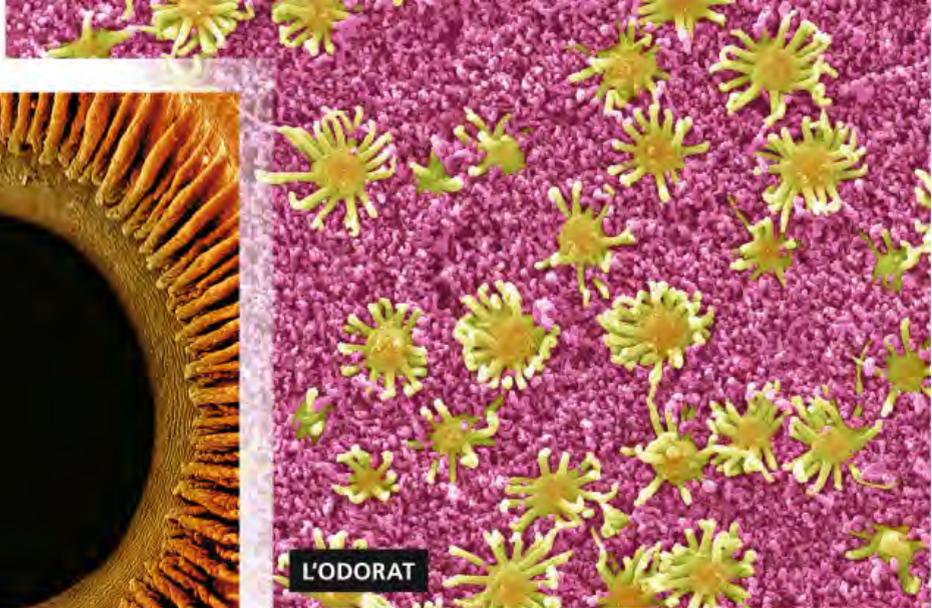
pose d'aucune adaptation sensorielle particulière pour affronter l'obscurité. Malheureusement, peu de travaux ont été menés pour comprendre comment évolue la synergie de nos sens quand nous sommes plongés dans le noir. Pour en savoir plus, il faut se tourner du côté des recherches portant sur les aveugles. Elles permettent d'apprendre beaucoup sur le fonctionnement du cerveau en l'absence de vision, notamment grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf).

« On constate, notamment, que chez les aveugles

Car la combinaison des sens multiplie l'efficacité du cerveau à construire une perception : « Les personnes voyantes s'appuient sur ce qu'elles voient pour mieux entendre, précise Pascal Barone, du Centre de recherches cerveau et cognition, à



LA VUE



L'ODORAT

< L'iris est constitué de deux muscles qui permettent de doser la quantité de lumière reçue par l'œil. A Dans le nez, les cellules olfactives se comptent par millions.

le cortex visuel est sollicité par l'audition et le toucher, ce qui n'est pas le cas chez les voyants, où il est même parfois inhibé », explique Franco Lepore, du département de psychologie de l'université de Montréal (Canada). Ce spécialiste de la plasticité cérébrale a montré, en 2005, une nette corrélation entre cette mobilisation de l'aire visuelle et la capacité des aveugles à localiser des sons.

LE CORTEX VISUEL MOBILISÉ PAR L'ODORAT

À l'Université catholique de Louvain (Belgique), Laurent Renier expérimente quant à lui des dispositifs de substitution de la vision par l'audition chez des aveugles de naissance, à l'aide de sons dont la tonalité, l'amplitude et la distribution dans le temps permettent de décrire la forme d'objets et leur localisation dans l'espace. Lui aussi observe, par imagerie cérébrale, une activité dans l'aire visuelle de ses patients aveugles lors du traitement d'informations non-visuelles. « Nous avons réalisé l'une des seules expériences d'imagerie sur l'olfaction des aveugles, se réjouit Laurent Renier. Elle montre bien que leur cortex visuel est sollicité par l'odorat. » Ce qui expliquerait pourquoi les aveugles sont souvent plus efficaces que les voyants pour identifier des odeurs. Cet appui donné aux autres régions du cerveau semble d'autant plus important que la tâche à accomplir est difficile. Et il se traduit, à force d'adaptation, par une augmentation de certaines performances sensorielles, comme la différenciation des sons chez les aveugles, qui ont plus fréquemment l'oreille absolue.

La mobilisation de l'aire cérébrale dévolue à la vision a également lieu chez les animaux. Dans les années 1990, l'équipe de Joseph Rauschecker,

aujourd'hui basé à l'université Georgetown de Washington (États-Unis), avait montré que les neurones du cortex visuel de chats aveugles depuis seulement trois mois réagissent aux stimuli auditifs et tactiles. Elle avait également constaté qu'ils ont des moustaches plus longues que les chats voyants, ce qui renforce leur sens tactile ! Depuis, ce chercheur a prouvé que les chats aveugles localisent mieux spatialement les sons que les chats voyants, qui ne sont pas plus performants la nuit que le jour. La nuit est sans doute une période bien trop courte pour que la vue soit « compensée » par les autres sens. Et c'est probablement aussi le cas chez l'humain.

« Ce n'est pas simplement la perte d'un sens qui peut en renforcer un autre. C'est d'abord l'effet d'une sollicitation plus fréquente et d'un apprentissage, confirme Franco Lepore. Un aveugle qui ne lit pas le braille n'a pas forcément un toucher plus performant que les voyants. Un lecteur de braille, si. » De la même manière, les aveugles montrent une meilleure aptitude à localiser une source sonore dans le plan horizontal, relève Olivier Collignon, de l'université de Trente (Italie) : « Pour cela, les aveugles de naissance sont généralement les plus performants. En revanche, les voyants localisent mieux les sons verticalement, ce qui laisse penser que la perception de la verticalité ne fonctionne que si elle a été calibrée par la vision. »

Ce que perçoit le cerveau est donc le résultat d'un ensemble d'informations qui sont pondérées en fonction de la situation. Avec la vision qui prédomine, quand elle est opérationnelle, au point qu'il est facile de piéger le cerveau, comme dans « l'effet ventriloque » : le regard se focalise sur la bouche de la marionnette, ce qui oriente notre audition au

SPL/COSMOS

point de nous donner l'illusion que c'est l'objet qui parle. « *Mais quand on fait l'expérience en regardant la marionnette de côté, et donc en sollicitant la vision périphérique qui est beaucoup moins efficace que la vision de face, l'effet ventriloque diminue fortement* », souligne Olivier Collignon.

Même quand il s'agit de s'approprier notre propre corps, la vision domine le toucher. Une expérience étonnante, dite de la main en caoutchouc, le montre bien : le bras d'un volontaire est masqué par un écran, tandis qu'on place en face de lui un bras en caoutchouc dont seule la main est visible. L'expérimentateur frotte ensuite avec deux pinceaux et selon des gestes synchronisés les deux mains (la vraie, cachée, et la prothèse) pendant quelques minutes. Le cerveau va ainsi élaborer une représentation du corps dans laquelle le bras en caoutchouc remplace progressivement le vrai. Et finalement, quand l'expérimentateur frappe violemment la main de caoutchouc, le « cobaye » retire la sienne, la vraie !

DES ILLUSIONS TACTILES SUR ORDINATEUR

À l'Inria de Rennes, Anatole Lecuyer profite même du rôle prépondérant de la vision pour recréer des illusions tactiles sur ordinateur : en ralentissant le déplacement du curseur de la souris quand il passe sur la pente ascendante d'une bosse représentée à l'écran, ou en l'accéléralant quand il passe sur la pente descendante, il finit par donner à la main qui tient la souris une sensation de relief. D'autres travaux créent une autre forme d'illusion tactile avec des « images élastiques » qui permettent, par exemple, de tester la souplesse de différents objets (serviette, balle de tennis, etc.) : on se retrouve à presser plus

visuelles, similaires à celles que l'on observe chez certaines personnes âgées qui ont perdu la vue en raison de maladies oculaires. Mais surtout, les chercheurs ont constaté que la nette amélioration de la lecture du braille et la mobilisation du cortex visuel observée chez les sujets privés de vision ne se retrouvait pas chez les sujets de contrôle, voyants et soumis au même entraînement. De plus, ils ont remarqué que si l'on perturbe le fonctionnement du cortex visuel à l'aide d'une stimulation magnétique transcrânienne répétée, les voyants aux yeux bandés ne parviennent plus à lire le braille. Un effet déjà observé chez les aveugles, mais pas chez les voyants en situation de voir. Une preuve que la mobilisation de cette région cérébrale est une des clés de l'apprentissage du braille.

Cette réorganisation cérébrale serait-elle permanente, irréversible, au point de permettre aux cobayes de Harvard de conserver le bénéfice de cette expérience éprouvante ? Rien n'est moins sûr : vingt-quatre heures après avoir retiré leur bandeau, la situation revient à la normale : les voyants ne mobilisent plus leur aire visuelle pour lire le braille, leur taux d'erreur augmente, et cette tâche n'est plus perturbée par la stimulation magnétique transcrânienne. « *Ces expériences prouvent qu'il n'y a pas à proprement parler de recâblage du cerveau quand un changement est récent*, analyse Pascal Barone. *Il y a un ensemble de réorganisations qui empruntent des chemins normaux, même s'ils sont peu utilisés en temps normal. En revanche, quand ces réorganisations sont anciennes, elles tendent à rester définitives. Avec un implant installé tardivement, un sourd de naissance percevra des sons,*

Nos sens s'aiguisent sans doute pendant la nuit, mais trop brièvement pour que nous en tirions un avantage durable

ou moins fortement le bouton de sa souris comme si on appuyait sur ces objets, c'est saisissant !

Si l'on apprend beaucoup sur la construction de la perception en étudiant les aveugles, on sait encore très peu de choses sur les personnes dotées de tous leurs sens. Pourtant, une expérience très spectaculaire a été conduite en 2008 à l'école médicale de Harvard par l'équipe d'Alvaro Pascual-Leone et Lotfi Merabet : des voyants ont été privés de toute perception visuelle pendant cinq jours, alors qu'ils étaient soumis à une formation intensive à la lecture du braille (quatre à six heures par jour, entrecoupées de séances de jeux tactiles). Au bout de un à deux jours, beaucoup ont témoigné d'hallucinations

mais ne pourra probablement pas comprendre la parole, car son cerveau n'a pas appris à décoder le langage. Alors que chez les sourds de naissance implantés rapidement ou les adultes devenus sourds et implantés ensuite, l'implant permet de comprendre la parole, car le cerveau a été préparé à ce rôle avant d'en être privé. »

Dans le noir, nos sens s'aiguisent sans doute imperceptiblement, mais les nuits ne sont pas assez longues pour que nous en tirions un avantage durable. Plonger dans la nuit en cherchant vainement à percer des yeux l'obscurité, tous sens aux aguets, c'est avant tout faire l'expérience... de notre inadaptation à ce moment de la vie. ●

> Dans le noir nos perceptions visuelles nous induisent en erreur. Un danger pour les pilotes.



La nuit crée-t-elle des illusions d'optique ?

Oui ! Notre vision nocturne est non seulement médiocre (voir article p. 110), mais elle peut aussi nous jouer des tours, qui ne sont pas sans danger quand on est aux commandes d'une voiture ou d'un avion... L'US Air Force, qui en est bien consciente, a ainsi répertorié (dans son manuel de médecine aérienne sur la vision de nuit de 1992) les illusions dont ses pilotes pouvaient être victimes lors de vols nocturnes.

UNE ÉTOILE QUI SE MET À DANSER

La plus commune d'entre elles est qu'il suffit de fixer un point lumineux pendant quelques secondes dans la nuit pour être persuadé qu'il bouge. Un pilote risque donc de prendre une étoile pour un avion en mouvement. Baptisé « autokinésie », ce phénomène peut être évité en balayant le champ de vision du regard sans fixer un point précis, tout en évitant de tourner la tête pour ne pas solliciter le centre de l'équilibre situé dans l'oreille interne (le système vestibulaire), qui nous renseigne sur

les mouvements et l'orientation par rapport à la verticale. Seconde illusion, toujours à haut risque chez les pilotes, le fameux « trou noir ». Il s'observe lors des nuits sans lune, quand l'horizon est peu facile à discerner. Ébloui par la lumière des éclairages de la piste d'atterrissage, le pilote ne voit plus rien d'autre qu'un « trou noir » entre lui et la piste. Cela le conduit à mal apprécier son altitude et l'éventuelle pente du sol, et lui fait courir le risque d'atterrir trop loin ou de s'écraser. Enfin, dans les nuits très noires, un pilote peut facilement être amené à prendre pour une étoile un point lumineux sur terre ou sur l'océan. Comme le système vestibulaire peut lui aussi être désorienté dans certaines phases aériennes (au décollage, à l'atterrissage ou lors de changements de direction très lents), il ne sera d'aucun secours au pilote pour l'aider à s'orienter dans l'obscurité. Le danger est alors grand de faire piquer son avion vers le sol en croyant se diriger vers une étoile... **D.Dq**



Comment les Norvégiens vivent leurs interminables nuits d'hiver ?

Les populations du Grand Nord souffrent avant tout de problèmes de sommeil : une étude réalisée à Sør-Varanger, à l'extrême nord de la Norvège, a révélé que 19,6 % des femmes et 11,2 % des hommes sont insomniaques en hiver, contre moins de 4 % en été. Ils sont également plus de 8 % à souffrir de dépression durant les nuits polaires. En cause, le manque de lumière (le Soleil ne passe pas au-dessus de l'horizon pendant deux mois entiers pendant l'hiver), qui perturbe la synthèse de mélatonine.

L.G.



Sans lumière, garde-t-on un rythme de 24 h ?

Deux expériences scientifiques historiques se sont attelées à cette question. La première fut entreprise en 1938 par deux Américains, Nathaniel Kleitman et Bruce Richardson (photo ci-contre). Pendant 32 jours, retirés dans la grotte Mammoth Cave, dans le Kentucky, ils s'imposent un rythme de « journées » de 28 heures. Mais ils constatent vite que leur température corporelle ne suit pas : elle continue de varier selon le cycle habituel de 24 heures, révélant la puissance de l'horloge biologique interne qui régule notre sommeil. Le 16 juillet 1962, le Français Michel Siffre prolonge les recherches en s'enfermant à son tour à 130 mètres de profondeur dans le glacier de Scarasson,

à la frontière franco-italienne, sans aucun repère temporel. La température et la luminosité sont parfaitement stables, et il n'a aucune horloge avec lui. Résultat : inconsciemment, le spéléologue conserve un rythme veille/sommeil de 24 heures et 30 minutes. Les appels qu'il passe systématiquement à l'équipe de surface pour signaler l'heure de ses couchers, réveils et repas en attestent. En revanche, la notion du temps lui échappe complètement. Lorsqu'il remonte à la surface le 14 septembre, il est convaincu d'être le 20 août ! Michel Siffre a d'ailleurs renouvelé l'expérience en 1972 au Texas et en 2000 dans l'Hérault. À chaque fois, sa pendule interne a résisté à l'épreuve de l'obscurité. L.G.

Des expériences dans des grottes coupées du monde (ici, en 1938) ont montré que le rythme circadien varie peu, même sur plusieurs semaines.

✦ Avec le manque de lumière, les Norvégiens sont plus nombreux à être insomniaques et déprimés.

Combien de nuits peut-on tenir sans dormir ?

Le record du monde a été établi en 1964 par un étudiant américain dans le cadre d'une expérience scientifique : 264 heures, soit 11 nuits, sans dormir ! Conséquences : crises de paranoïa, hallucinations, troubles de la mémoire et sérieux déficits cognitifs, surtout le dernier jour. Mais après 14 heures de sommeil, Randy Gardner semble s'en être complètement remis. Cependant, l'expérience n'a jamais été reconduite du fait de sa dangerosité. Et personne n'a voulu cautionner ni homologuer le marathon entamé par le britannique Tony Wright, qui prétend avoir battu le record en 2007 en résistant 266 heures sans dormir. L.G.



PEURS ET CAUCHEMARS, INSÉCURITÉ

LES DANGERS DE LA NUIT

86

Une peur du noir inscrite dans les gènes.

On l'hériterait de nos ancêtres, pour qui la nuit était remplie de prédateurs invisibles à leurs yeux.

92

Minuit, l'heure du crime ?

Avec l'obscurité, la sensation de danger augmente. Mais l'insécurité est-elle réellement plus grande la nuit ?

96

Question | Réponse

Y a-t-il d'avantage d'accidents la nuit ?



Une peur du
noir inscrite
dans les gènes

Présente dans toutes les cultures, la crainte de l'obscurité serait programmée biologiquement. Elle serait l'héritage de la crainte ancestrale des prédateurs, due à notre piètre vue nocturne.

PAR LISE BARNÉOUD

C'est la nuit noire. La Lune n'est pas encore levée. Vous cherchez le sommeil, mais votre maison s'emplit de bruits qui prennent peu à peu une dimension terrifiante. Ces craquements deviennent des pas feutrés se rapprochant doucement dans le couloir. Ce glissement évoque une arme blanche qu'on sort de son étui. Ce grincement ressemble à un lointain cri d'effroi. Et ce léger souffle, à une respiration toute proche, péniblement retenue. Votre pouls s'accélère. Pourtant, impossible de vous lever, de tendre le bras jusqu'à l'interrupteur, pétrifiés que vous êtes dans cette obscurité. Ce sentiment vous est familier ? Logique : la peur du noir est l'une des peurs les plus répandues chez les hommes. Elle est même instinctive. La preuve : elle existe dans toutes les cultures. En comparant

une centaine d'étudiants chinois et anglais, la psychologue britannique Louise Higgins a d'ailleurs conclu que seuls trois types de peur ne présentaient aucune différence culturelle : la peur du noir, la peur des hauteurs et la peur des serpents. « *Ce sont des peurs programmées biologiquement, contrairement à la peur des araignées, par exemple, qui n'existe que très peu en Chine et qui relève d'un apprentissage social* », précise la chercheuse.

LES MONSTRES CRISTALLISENT NOS PEURS

Bien sûr, cette peur est aussi alimentée voire exacerbée culturellement. Chaque société crée et entretient ses créatures mythiques de la nuit, aux allures et aux mœurs effrayantes. Vampires, fantômes, loups-garous, toute une panoplie de monstres nocturnes a été inventée pour cristalliser nos angoisses naturelles et entretenir cette peur ancestrale. Il n'empêche, avant de s'épanouir à travers eux, « *la peur du noir est un potentiel que nous possédons tous, confirme Antoine Pelissolo, professeur de psychiatrie à l'hôpital Henri-Mondor, à Créteil. Même si ce potentiel s'exprime différemment en fonction de l'histoire de chacun et de son environnement* ».

À bien y réfléchir, il est parfaitement logique que cette peur soit inscrite au plus profond de nous. Il y a quelques dizaines de milliers d'années, si un *Homo sapiens* décidait sur un coup de tête de quitter son groupe et sa grotte pour aller prendre un peu le frais au-dehors, dans la nuit obscure, il avait peu de chance de survivre à son intrépidité ! Pour cause : les faibles capacités de nos yeux à percer l'obscurité nous laissent peu de chance d'anticiper la menace que représentent les prédateurs nocturnes dotés, eux, d'une excellente vue de nuit. Un chercheur américain de l'université du Minnesota a d'ailleurs montré en 2011 que les



produits de la sélection naturelle qui, pendant 200 000 ans, a impitoyablement éliminé les individus incapables de percevoir les dangers du noir et de les transmettre à leur descendance.

Résultat, moins on n'y voit, plus on panique. En témoigne le comportement des enfants atteints de « cécité nocturne ». Car si l'homme est un handicapé de la vision nocturne, il est toutefois doté d'une petite adaptation qui lui permet, au bout de quelques minutes d'obscurité, de distinguer les gros objets. Sauf chez certaines personnes qui ne

Leurs prédateurs ont beau être enfermés dans les zoos, les citadins éprouvent quand même cette peur ancestrale

attaques de lions sur l'homme en Tanzanie (un des rares pays où les félins évoluent encore en liberté, y compris hors des parcs naturels) étaient clairement plus fréquentes durant les nuits sans lune ! Il en a vraisemblablement toujours été ainsi... et même les citadins d'aujourd'hui, dont les prédateurs les plus proches sont soigneusement enfermés dans les zoos, ont hérité de ce conditionnement : nous ne sommes rien d'autre que des fils et filles de peureux, des enfants de ceux qui, écoutant leur crainte, se sont protégés des prédateurs nocturnes ; des

parviennent pas à accommoder leur rétine. Or, des chercheurs britanniques ont remarqué que chez les enfants cette pathologie entraîne une phobie démesurée du noir : seule une lumière leur permet de trouver le sommeil. Cette peur, salvatrice à l'échelle de l'humanité, peut donc se révéler handicapante pour l'individu. Et si peu de personnes se tournent vers un psychiatre spécifiquement pour cette peur, nombreux sont ceux qui, consultant pour d'autres raisons, évoquent cette crainte de l'obscurité. Aucune statistique fiable n'existe,



< Très en vogue aujourd'hui, les vampires existent depuis plus de 5000 ans: la plus ancienne trace écrite de ces monstres remonte en effet à l'Égypte antique.

✓ La croyance en l'existence de fantômes est très répandue en Asie. Mais elle se retrouve dans pratiquement tous les pays, et ce, depuis l'Antiquité.



mais la part des personnes réellement phobiques du noir paraît faible, environ 5 % selon les estimations des spécialistes. Toutefois, même chez les personnes qui parviennent à surmonter ce sentiment, cette appréhension du noir pourrait avoir de plus grandes répercussions qu'on ne le pense.

L'HEURE DES TENSIONS

Des chercheurs canadiens du laboratoire du sommeil et de la dépression à l'université de Ryerson, à Toronto, ont interrogé 93 étudiants sur leur peur du noir et la qualité de leur sommeil. Ainsi, 20 % des bons dormeurs rapportent avoir peur dans le noir, mais ce chiffre grimpe à 50 % parmi les mauvais dormeurs. Ils ont alors fait dormir leurs cobayes dans leur laboratoire durant deux nuits. La première nuit, une faible lumière éclairait la chambre, alors que la seconde se passait dans une nuit noire. De temps à autre, un son venait perturber les dormeurs et les chercheurs observaient leurs réactions. Résultat : si les bons dormeurs finissent, même dans le noir, par s'habituer au bruit, les mauvais n'y parviennent pas. Pire : au fur et à mesure que la nuit avance et que le bruit revient de façon aléatoire, la moitié de ces mauvais dormeurs panique de plus en plus. « Chez ces

personnes, la peur du noir semble être une cause significative de leur insomnie, conclut Colleen Carney, co-auteure de l'étude. Pour eux, l'heure de la nuit signifie l'heure des tensions. »

Des tensions encore plus courantes chez les enfants. En effet, lequel n'a jamais demandé à laisser une lumière allumée au moment du coucher ? La peur du noir est l'une des plus fréquemment rapportées par les petits, avec la peur des animaux et la peur du sang et des piqûres. « Tous les enfants ont, à un moment donné, un problème avec le noir, confirme Antoine Pelissolo. D'ailleurs, les adultes qui connaissent de vraies difficultés avec cette phobie présentaient déjà de grandes difficultés durant leur enfance. » Cette peur semble apparaître vers 3 ans, puis diminue normalement avec l'âge, chez les garçons comme chez les filles. Il arrive toutefois qu'elle ne disparaisse pas, voire s'exacerbe.



^ Présents dans la mythologie grecque, les loups-garous appartiennent plutôt à la culture européenne. Mais ils ont peu à peu intégré les légendes américaines et asiatiques.

> Avant de hanter les folklores européens et américains, les morts-vivants (ou zombies) sont nés en Haïti. Ces monstres seraient le résultat de sortilèges vaudous.



« Si les parents parviennent à créer un sentiment de sécurité générale, s'ils sont présents lors des réveils la nuit, s'ils rassurent l'enfant en cas de cauchemar, la peur du noir ne devient généralement pas une phobie. En revanche, si l'enfant vit quelque chose de traumatisant durant une nuit, ou si des intrusions extérieures viennent sans cesse perturber l'endormissement ou le sommeil, cette peur peut devenir moins contrôlable », commente Antoine Pelissolo. A contrario, un enfant qui aura toujours été protégé de sa peur du noir soit avec une lumière, soit en dormant avec ses parents

Si son intensité varie selon les individus, la peur du noir a pour tous une même base biologique, inscrite dans l'amygdale

n'aura jamais appris à la contrôler seul et pourra avoir bien du mal à le faire une fois adulte !

Si l'intensité de son expression dépend donc de l'histoire de chacun, la peur du noir existe bien en nous biologiquement. Et on sait même précisément où : c'est l'amygdale, le principal organe de la peur dans le cerveau, qui la régule. La preuve : les personnes dont l'amygdale ne fonctionne plus cessent d'avoir peur la nuit. « Nos patients se souviennent avoir eu peur du noir enfant, mais désormais, ils

peuvent marcher seuls dans un parc en pleine nuit sans lumière sans éprouver la moindre crainte », raconte Justin Feinstein, chercheur au laboratoire de cognition sociale et émotionnelle de l'Institut technique de Californie (Caltech). La peur du noir n'est d'ailleurs, dans ce cas, pas la seule peur à avoir disparu : ils ne montrent aucune réaction non plus devant des films d'horreur, des serpents ou des araignées. Pour affiner son étude, ce biologiste projette de plonger ces patients dans des caisses totalement noires afin d'étudier notamment la réponse de leur cerveau à ce stress et la comparer à celle de per-

sonnes témoins. De quoi nous en dire un peu plus sur les bases neurologiques de cette peur.

Reste la question des nourrissons : si cette peur est innée, ne devrait-elle pas s'exprimer dès les premiers jours de vie ? La plupart des parents constatent, et des études ont depuis confirmé leurs observations, que les bébés pleurent davantage entre 18 heures et 24 heures. Pour autant, impossible d'affirmer qu'il s'agit là d'une manifestation de la peur du noir qui s'installe. D'autant moins



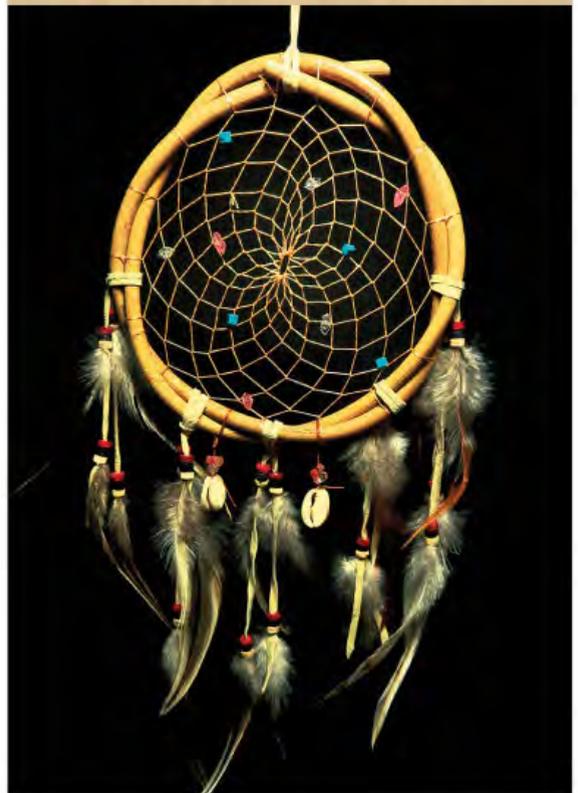
que les nourrissons d'aujourd'hui vivent sous des lumières artificielles et ressentent donc moins le passage du jour à la nuit. On sait toutefois qu'avec la fatigue l'amygdale devient plus sensible : après une journée bien remplie, cet organe pourrait ainsi envoyer plus rapidement des signaux d'alerte et induire cet état de stress. « *Bien des comportements sont déterminés génétiquement, mais ne s'expriment pas dès la naissance, cela dépend de la maturité des structures cérébrales* », prévient Antoine Pelissolo, qui préfère parler d'une peur du noir à partir de 3 ans, lorsque l'enfant comprend la notion de danger potentiel.

Le temps où nos ancêtres veillaient la nuit pour surveiller le campement paraît bien loin. Mais si nous transposons notre aventure sur Terre à une échelle de 24 heures, cette menace permanente que représentent nos prédateurs couvrirait la quasi-totalité de la journée. Seules les dernières minutes seraient plus tranquilles. Impossible, donc, d'oublier si vite ce qui nous a permis de survivre jusqu'ici : la peur du noir et de ses dangers. Chacun de nous porte donc ce fardeau, ancré dans nos gènes. Le tout est de faire en sorte que ce cadeau empoisonné ne devienne pas un trop grand handicap... ●

LA PEUR HANTE AUSSI LE SOMMEIL

Une fois endormi malgré l'effroi que la peur du noir engendre, voilà que l'on retombe dans une épouvante plus grande encore : celle des cauchemars et des terreurs nocturnes. Ces dernières, qui touchent surtout les enfants entre 3 et 15 ans, s'apparentent au somnambulisme et interviennent en période de sommeil lent profond (et non en sommeil paradoxal comme la plupart des rêves). Durant ces épisodes, l'enfant semble affolé : il a les yeux ouverts, il crie, tient des propos incohérents, gesticule. Mais s'il se réveille (ce qui est rare), il est incapable de formuler les causes de son angoisse. Le plus souvent, il continue à dormir et n'a aucun souvenir des événements à son réveil. Les cauchemars, quant à eux, ont fait l'objet d'une étude canadienne parue en février dernier, qui montre que c'est le sentiment de peur qui domine dans les deux tiers d'entre eux, avant la tristesse et la douleur, par exemple (les cauchemars sont définis comme des rêves si pénibles qu'ils provoquent le réveil du sujet). Les thèmes des cauchemars les plus fréquents sont les agressions physiques, les conflits, la mort et la maladie. Les cauchemars des hommes sont souvent liés à des catastrophes (tremblements de terre, inondations, guerres), alors que les femmes cauchemardent plutôt sur les conflits interpersonnels.

V Placé au-dessus d'un lit, ce capteur de rêves amérindien est censé préserver des cauchemars.





▲ Près d'un quart des Français avouent avoir peur de sortir seuls le soir, que le danger soit réel ou pas.

Minuit, l'heure du crime ?

Avec l'obscurité, la sensation de danger augmente. Parce que la nuit réveille les peurs, transforme les êtres en ombres mouvantes et favorise tous les excès. Pour autant, l'insécurité est-elle réellement plus grande la nuit que le jour ? Pas si sûr...

PAR LISE BARNÉOUD

Elle ne mène pas qu'au rêve ou à la contemplation des étoiles. La nuit a aussi son côté sombre, violent, morbide. Dans les romans policiers et les films d'horreur, les meurtres se déroulent volontiers la nuit, lorsque les assassins se fondent dans le noir et que les témoins se font rares. Dans la vie réelle, l'obscurité d'une route de campagne déserte ou l'éclairage blafard d'une ruelle de banlieue provoquent immanquablement chez celui qui les emprunte une angoisse diffuse inspirée de faits divers sordides. La crainte d'être victime de violence est ainsi bien plus élevée la nuit que le jour. « *Entre un cinquième et un quart des Français disent éprouver au moins quelques fois la peur de sortir seul le soir dans leur quartier*, dévoile Philippe Robert, du Centre de recherches sociologiques sur le droit et les institutions pénales (CNRS). *Mais attention, cette crainte n'est pas un simple miroir du risque réel.* » Ce sentiment d'insécurité varie en effet d'une personne à l'autre, mais aussi d'un quartier

> La sensation d'anonymat procurée par l'obscurité renforcerait le sentiment d'impunité et augmenterait de fait les comportements déviants.

à l'autre, sans que le niveau réel des menaces soit différent. « Il se peut en réalité que l'obscurité en soi favorise ce sentiment accru d'insécurité », poursuit le chercheur. Notre peur ancestrale du noir (voir p. 86) y est sans doute pour beaucoup...

Mais est-ce la seule responsable? La nuit libère les tabous et génère un sentiment d'impunité, comme si les lois qui régissent la journée s'évanouissaient à mesure que le soleil disparaît. Comme si la nuit révélait d'un coup la face obscure des individus, ouvrant la porte à tous les excès. D'ailleurs, de nombreuses études en psychologie montrent qu'il n'y a qu'un pas entre l'ombre et l'impunité. « L'obscurité induit une sensation d'anonymat disproportionné et augmente ainsi les comportements déviants », précise Vanessa Bohns, chercheuse à l'université de Waterloo au Canada, qui a montré expérimentalement que les individus plongés dans une pièce sombre, voire simplement affublés de lunettes de soleil mentent et trichent bien plus facilement que les autres. La nuit encourage donc bien les malveillants... D'autant plus qu'elle correspond au moment de la journée où la consommation d'alcool est la plus forte, ce qui désinhibe les comportements. Toutes les raisons sont donc réunies pour que minuit soit l'heure du crime...

L'HEURE DES DÉLITS EST RAREMENT CONNUE

En réalité, il est difficile de l'affirmer : les statistiques en matière d'insécurité nocturne sont rares et complexes à analyser. Pour tout ce qui relève de la violence contre les biens, l'heure du délit est rarement connue : on découvre un magasin vandalisé le matin à l'heure de l'ouverture, ou sa maison cambriolée le soir en rentrant, mais à quelle heure les faits se sont-ils produits? Quant aux atteintes aux personnes, « les données sur la répartition de la criminalité en fonction de l'heure renseignent surtout sur les modalités d'activité des forces de l'ordre et sur leurs modes d'enregistrement des faits », prévient Philippe Robert. De fait, pour mesurer la violence, on s'appuie généralement sur les rapports de police et de gendarmerie. Or ces évaluations dépendent des déclarations des victimes ou des témoins. Les délinquants sont rarement pris en flagrant délit. Une augmentation des actes de violence répertoriés peut tout aussi bien provenir d'une augmentation du nombre de policiers ou d'une plus grande propension des victimes à



dénoncer les faits. « Les autorités évitent de diffuser ces statistiques car elles comportent de nombreux biais », résume Rémi Boivin, chercheur au Centre international de criminologie comparée, à l'université de Montréal. « Les recherches en criminologie se focalisent sur la détermination géographique des lieux de crimes, alors que la dimension temporelle est largement ignorée. C'est dommage, au vu des informations que l'on pourrait tirer d'une analyse spatio-temporelle », regrette aussi Jerry Ratcliffe, professeur de justice criminelle à l'université Temple de Philadelphie (États-Unis), dans un article consacré à la cartographie criminelle. En France, l'Observatoire national de la délinquance publie sur son site web (cartocrime.net) les chiffres de toutes les infractions enregistrées par catégorie (du vol à l'étalage au viol sur mineur en passant par la prise d'otage et la violation de domicile), mois par mois et département par département, mais ne fournit pas d'analyse temporelle journalière.

Quelques études donnent néanmoins une petite idée de l'ampleur de la violence nocturne. Aux États-Unis, malgré d'importantes différences entre les villes, les crimes violents surviennent en moyenne plus fréquemment après 23h. À San Francisco, par



actes malveillants, publiée par l'Institut national des hautes études de la sécurité et de la justice, indique que la tranche horaire où la police enregistre le plus « d'atteintes volontaires à l'intégrité physique » sur la voie publique s'étend de 18 h à 19 h, c'est-à-dire au retour du travail, au moment où l'on trouve le plus de monde en ville. Un autre pic survient entre 23 h et minuit. Mais globalement, d'après des enquêtes de l'Insee menées entre 2005 et 2007 en France métropolitaine, environ 65 % des agressions physiques se produiraient en plein jour en France.

L'ÉCLAIRAGE PUBLIC RÉDUIT LA PEUR

Difficile dans ces conditions d'affirmer que la violence est plus importante pendant la nuit. Difficile également de juger de l'efficacité des politiques d'éclairage urbain pour lutter contre la violence nocturne. L'idée que la lumière puisse faire baisser cette criminalité remonte au XVII^e siècle, dans un Paris infesté de criminels sévissant essentiellement la nuit. L'éclairage des villes des pays riches a connu son apogée dans les années 1970, mais les premiers bilans se sont avérés décevants. Un rapport de la justice américaine, daté de 1979, concluait que l'éclairage public ne semblait pas avoir d'influence sur le niveau de criminalité. Douze ans plus tard, une étude menée au Royaume-Uni aboutissait à la même conclusion. Une autre, publiée en 2008, a analysé 13 enquêtes américaines et britanniques dont « la méthodologie permettait de bien comparer des quartiers avant et après éclairage », précise l'un des auteurs, Brandon Welsh, professeur de criminologie à l'université Northeastern, à Boston. Résultat : parmi ces 13 enquêtes, 8 d'entre elles, essentiellement anglaises, constatent un effet positif de l'éclairage sur les niveaux de violence. « Ces chantiers d'éclairage public ont sans doute bénéficié de la connaissance acquise par les projets conduits précédemment aux États-Unis », suggère Brandon Welsh.

exemple, 42 % des fusillades ont lieu entre minuit et 5 h du matin selon SpotCrime, une agence privée basée à Baltimore qui regroupe des données diverses (statistiques policières, enquêtes, médias). « À Montréal, nous observons aussi un pic de violence entre 2 h 30 et 4 h du matin, période qui correspond au moment de la fermeture des bars. Ensuite, le niveau est très bas, et il remonte en fin d'après-midi », précise de son côté Rémi Boivin, qui a travaillé pour la police québécoise. « En Amérique du Nord, on s'aperçoit que la violence est rythmée par nos activités routinières. En pleine journée, nous n'avons guère le

Les statistiques concernant les crimes et délits souffrent de biais qui ne permettent pas de quantifier l'insécurité nocturne

temps de nous taper dessus. Les actes de violence contre les personnes augmentent dès lors que les agresseurs comme les victimes terminent leur travail, se rencontrent dans la rue ou dans les bars et les boîtes de nuit où la plupart des agressions sont recensées », conclut le chercheur québécois.

Toutefois, les choses semblent différentes de ce côté-ci de l'Atlantique. À Paris, une des rares études prenant en compte la notion de temporalité des

De fait, on n'éclaire plus les villes comme avant : les emplacements des lampadaires et le type d'éclairage sont désormais pensés en fonction de chaque quartier. On s'oriente aussi vers des dispositifs plus sophistiqués comme des éclairages déclenchés par des capteurs de présence ou commandés par téléphone. Avec au moins une utilité reconnue : celle de réduire la peur du noir et donc le sentiment d'insécurité lorsque l'on marche seul, la nuit, dans la rue. ●



< La nuit concentre seulement 10 % du trafic routier... mais un tiers des accidents.

La route est-elle plus dangereuse la nuit ?

Oui. En moyenne, en France, un tiers des accidents de la route se produisent la nuit... alors qu'elle ne concentre que 10 % du trafic global ! Plusieurs facteurs sont impliqués. La fatigue, d'abord, puisque la vigilance du conducteur est à son minimum entre 2h et 5h du matin. Dans cet intervalle, le risque de somnolence est accru. Pour autant, la fatigue ne se manifeste pas uniquement la nuit. La moitié des accidents sur autoroute liés à la somnolence ont lieu entre 14h et 16h. L'alcool, qui se consomme beaucoup en fin de journée, entre également en jeu. Ainsi, en 2012, comme l'indique le bilan de la sécurité routière,

48 % des accidents mortels avec alcool ont eu lieu la nuit. Surtout le week-end et les jours fériés, où le chiffre grimpe jusqu'à 58,4 %. Par ailleurs, les routes dégagées donnent un sentiment de toute-puissance qui incite à prendre de la vitesse, principal ennemi de la sécurité routière.

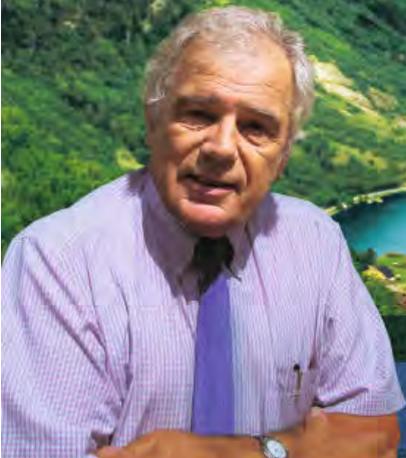
L'ÉCLAIRAGE EN DÉBAT

Enfin, alors que notre vue baisse la nuit, les feux de croisement n'éclairent qu'à 50 m. Certaines études préconisent néanmoins de réduire les éclairages publics routiers pour renforcer l'attention des conducteurs et les faire ralentir. Mais d'autres ont montré que le manque de

visibilité empêche surtout d'anticiper d'éventuels obstacles. Les plus exposés des usagers nocturnes de la route restent en effet les piétons et les cyclistes, bien que peu nombreux. Les piétons trouvent la mort deux fois plus en décembre qu'en juin, en partie à cause des journées raccourcies. La nuit, les animaux sauvages sont à l'origine de nombreux accidents. La plupart des collisions impliquant le grand gibier surviennent au crépuscule, souvent en période hivernale. Les chevreuils sont les plus concernés, ainsi que les sangliers dont les yeux ne réfléchissent pas la lumière, contrairement à ceux des cervidés. L.G.

LA CROISIÈRE CAP NORD
DE SCIENCE & VIE
DU 31 MAI AU 11 JUIN 2014

Laissez-vous envoûter par les fjords de Norvège, la beauté des îles Lofoten et le soleil de minuit sur le mythique Cap Nord



Rejoignez-moi pour cette nouvelle croisière exceptionnelle.

En présence de Michel Chevalet, maître de cérémonie*



Geiranger (Norvège)

BERGEN - FJORDS - ILES LOFOTEN - TROMSO - CAP NORD

12 jours / 11 nuits
à partir de

1995€

EN PENSION COMPLÈTE

Vol Paris/Hambourg inclus

Prix par pers. en cabine double cat. 1C.

PLACES LIMITÉES

Croisière gratuite
pour les enfants de -18 ans⁽¹⁾
en cabine triple ou quadruple avec les parents
hors taxes portuaires, vol(s), transferts
et forfait de séjour à bord



LE PROGRAMME* DE VOTRE
CROISIÈRE CAP NORD

SCIENCE & VIE

✓ Des conférences passionnantes

- **Jean Jouzel**, prestigieux climatologue honoré à titre collectif du prix Nobel de la Paix avec le GIEC en 2007 vous expliquera les enjeux liés au réchauffement climatique et à la fonte des glaces.
- **Michel Chevalet** journaliste scientifique et maître de cérémonie interviendra sur la bataille de Narvik et l'épopée de l'eau lourde, deux événements majeurs de la II^e guerre mondiale.
- **André Brahic**, astronome et astrophysicien vous dévoilera les mystères de la naissance de l'univers.

✓ Une excursion «Spécial Lecteurs» Science & Vie

✓ Tous les secrets de votre magazine Science & Vie dévoilés par le Directeur d'édition.

À BORD DU
COSTA MEDITERRANEA



*Ce programme non contractuel est susceptible d'évoluer.

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

0 811 020 033

OU SUR LE SITE :
<http://capnord.scienceetvievoyages.com>

Du lundi au samedi de 9h30 à 17h30 - (0,09€ TTC/min depuis un poste fixe en métropole)

En précisant
le code avantage :
«SCIENCE ET VIE»

Cette croisière est organisée en partenariat avec
Costa Croisières - Costa Crociere S.p.A. France - Atout
France 092100081.

Science et Vie est une publication du groupe
Mondadori France Siège Social : 8 rue François Cray
92 543 Montrouge Cedex. * Sauf cas de force majeure

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à **SCIENCE&VIE VOYAGES CROISIÈRE CAP NORD - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9**

OUI, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION COMPLÈTE
de la croisière CAP NORD proposée par Science & Vie Croisières.

Code avantage : **SCIENCE ET VIE C14SV1P**

SCIENCE & VIE
CROISIÈRES

Mme Mlle M

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : _____ Ville : Date de naissance : _____

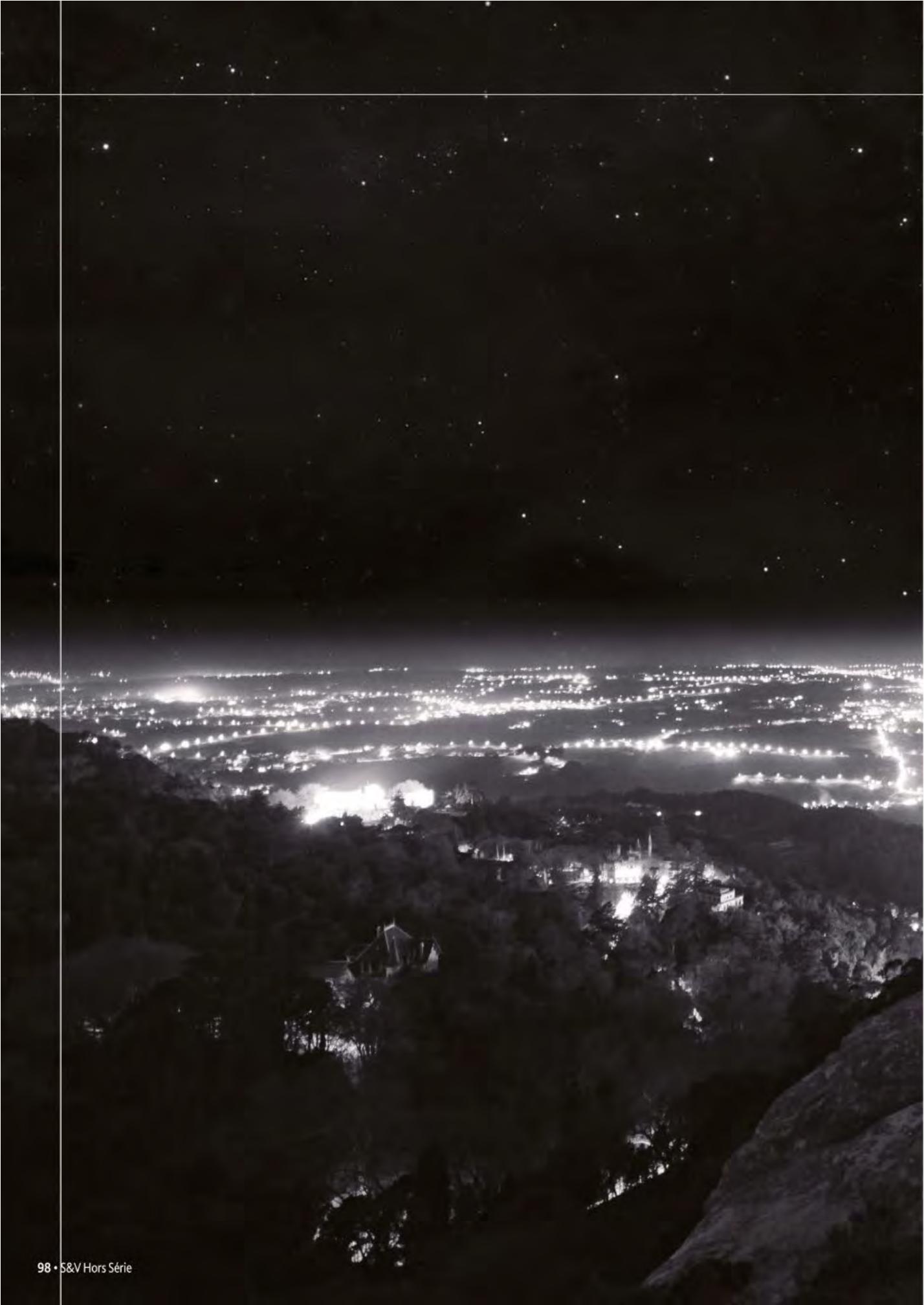
Tél. : _____ Email :

Oui je souhaite bénéficier des offres de Science et Vie et de ses partenaires.

Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) OUI NON

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification des données vous concernant.

Costa
CROISIÈRES



POLLUTION LUMINEUSE, TECHNOLOGIES

LES LUMIÈRES DE LA NUIT

100

Alerte à la pollution lumineuse. L'éclairage artificiel est si développé qu'il gêne l'observation du ciel et perturbe les cycles de vie des animaux et des hommes.

110

Voir comme en plein jour. Si notre œil s'avère incapable de percer l'obscurité, les technologies thermiques ou amplificatrices de lumière viennent aujourd'hui pallier cette déficience.

116

Questions | Réponses

Peut-on s'éclairer à la bioluminescence ? Est-il possible d'être nyctalope ? La lumière artificielle abîme-t-elle les yeux ? Etc.



^ Même plongée dans l'obs-
curité de la nuit, la Terre
continue de briller de mille
feux, reflets du recours
massif à l'éclairage artificiel.



Alerte à la pollution lumineuse

À force de vouloir faire reculer l'obscurité, l'éclairage artificiel a rompu notre lien naturel avec la nuit. Gênant l'observation du ciel, bouleversant les écosystèmes et perturbant notre sommeil, il est devenu une véritable pollution.

De la découverte du feu à l'éclairage massif de nos villes modernes, l'homme a dépensé une énergie considérable, au sens propre comme au figuré, pour faire reculer l'ombre et triompher de la nuit. Et pour cause : l'obscurité fait peur (voir p. 86) et elle paralyse l'activité humaine. Le développement de la lumière artificielle est donc en premier lieu une victoire de l'homme sur son environnement. Mais cette soif d'éclairage a finalement atteint de tels sommets qu'elle en vient aujourd'hui à dégrader l'environnement naturel, à impacter les écosystèmes et même à perturber notre santé. Longtemps symbole de progrès, l'éclairage artificiel est devenu une « pollution » à laquelle 62 % de la population mondiale et 99 % de la population française est dorénavant exposée ! Et la nuit, telle une espèce en voie de disparition, se voit aujourd'hui menacée d'extinction. Au point que nous en oublions presque sa profondeur, sa beauté, mais aussi sa fonction, son rôle indispensable au rythme de la vie.

PAR DAVID HUMBERT

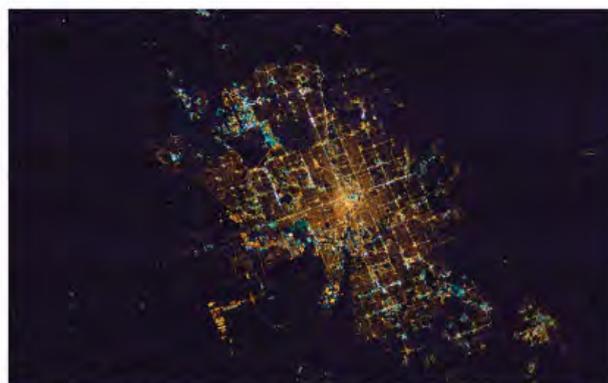
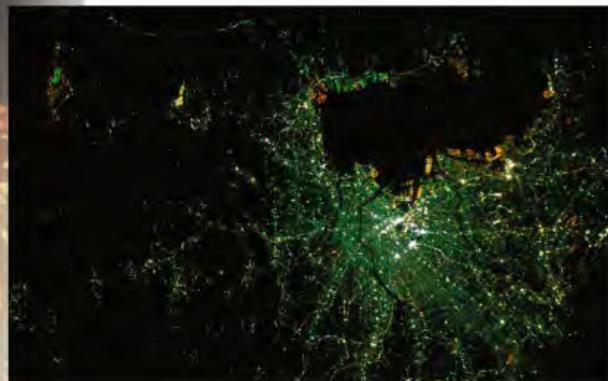


Sécurité, mise en valeur patrimoniale, décoration, publicité, ambiance... Tous les prétextes sont bons. On éclaire les rues, les carrefours, les routes, les autoroutes, et jusqu'aux aires de stationnement. On illumine les immeubles, les monuments, les ponts et même les paysages. Vitrites et panneaux publicitaires clignotent jour et nuit, tandis que les *sky-tracers*, les faisceaux lumineux souvent projetés par les discothèques, ratissent vainement le ciel, des heures durant. Ports, aéroports, bureaux, installations industrielles et commerciales sont allumés en permanence pour accompagner une activité économique qui ne s'arrête presque jamais. Au total, près de 10 millions de points lumineux publics (des lampadaires pour la très grande majorité) et plus de 3,5 millions d'enseignes lumineuses commerciales sont installés en France. Des chiffres qui ont progressé de 64 % ces vingt dernières années ! La durée moyenne de l'éclairage public est passée de 2400 à 4000 heures par an, soit de six heures et demie à onze heures par jour. Une débauche de

photons devenue incontrôlable, voire absurde. Des quartiers, des lotissements ou des villages entiers, pourtant sans âme qui vive dans les rues après 22 heures, brillent de mille feux jusqu'à l'aube. Les lampadaires boules projettent leur lumière dans toutes les directions, sauf à leur pied ! Les éclairages patrimoniaux ou architecturaux sont de véritables feux d'artifice permanents. Parfois inutile, souvent mal pensé ou mal conçu, l'éclairage public dissipe la plupart de sa lumière vers le ciel, sans aucun profit pour personne.

LES LAMPADAIRES ONT ÉTEINT LE CIEL

Le soir venu, il suffit de lever la tête pour en constater la première conséquence : quelques dizaines d'étoiles tout au plus restent visibles dans le ciel des villes, contre plusieurs milliers par nuit claire en rase campagne. Prenons l'emblématique Grande Ourse, qui rassemble environ 400 étoiles visibles à l'œil nu dans un ciel vierge de toute perturbation lumineuse. En France, vous n'en distinguerez



▲ Photographiées depuis la Station spatiale internationale, les villes irradient dans la nuit. On reconnaît ici aisément Dubai à son île artificielle en forme de palmier.

> La teinte bleu-vert de Tokyo (en haut) est due à ses lampes à vapeur de mercure. Istanbul (au milieu) révèle un maillage typique des vieilles villes, alors que la jeune Denver (en bas) semble avoir été tracée au cordeau.

qu'une petite centaine dans les zones les moins atteintes, une dizaine tout au plus en milieu urbain...

« *Les lampadaires ont éteint le ciel et rompu notre lien millénaire avec la voûte céleste. Aujourd'hui les étoiles sont devenues des objets virtuels* », déplore l'astrophysicien Hubert Reeves. En s'éclip-sant devant la fée électricité et ses manifestations aveuglantes et omniprésentes, les merveilles de l'Univers finissent par disparaître de notre paysage et même de nos mémoires ! Pour preuve, en 2003, lors du *black-out* de New York, une gigantesque panne d'électricité qui a plongé la métropole dans la nuit noire pendant de longues heures, les standards téléphoniques de la mairie et des pompiers ont explosé. Des milliers d'habitants s'inquiétaient

d'observer d'étranges lueurs dans le ciel noir de la ville éteinte : ils venaient en fait de redécouvrir... la Voie lactée ! Un spectacle dorénavant inaccessible non seulement aux citadins américains, mais aussi à plus de la moitié des Européens.

Car le phénomène s'étend bien au-delà des villes. En se diffusant dans l'atmosphère, l'éclairage urbain produit des halos lumineux visibles à des dizaines de kilomètres, voire une centaine lorsqu'ils sont amplifiés par la pollution de l'air ou la couverture nuageuse. Ainsi, en France, seuls quelques îlots d'obscurité subsistent encore tant bien que mal, au fin fond du Quercy ou dans quelques vallées inaccessibles de la Corse. Au grand dam des astronomes ! Car dans ces conditions, impossible





« Cette débauche d'énergie à laquelle on assiste aujourd'hui dans les villes (ici, à Hongkong) comme en pleine nature (ci-dessus, les falaises d'Étretat) est inutile et coûteuse. En outre, elle a des effets désastreux sur de nombreuses espèces nocturnes et sur la santé humaine.

pour un amateur de s'adonner à la contemplation des corps célestes sans faire des kilomètres loin des zones urbaines pour tenter de trouver un ciel à peu près préservé. Les scientifiques, eux, ont dans un premier temps implanté leurs observatoires dans les montagnes, pour bénéficier d'un ciel dégagé et s'affranchir des particules de pollution atmosphérique. Mais la pollution lumineuse les a rattrapés (voir encadré p. 109), et les astronomes n'ont plus le choix. Il leur faut fuir le monde civilisé pour s'exiler dans les endroits les plus reculés et inhospitaliers de la planète : le désert de l'Atacama, au Chili, eldorado des étoiles, ou même l'Antarctique, encore vierge de toute perturbation anthropique.

La fuite, c'est la stratégie que sont également forcés d'adopter de nombreux animaux nocturnes pour survivre à ces nuisances. Que faire d'autre quand un lampadaire est installé au beau milieu de l'habitat naturel de ceux qui ne peuvent vivre que dans l'obscurité ? Quand des projecteurs surpuissants arrosent les falaises dans lesquelles ils ont coutume de nicher ? Comment la luciole attirera-t-elle un mâle pour s'accoupler si ses signaux lumineux se noient dans la lumière ambiante ?

UN CRÉPUSCULE PERMANENT

Si l'on ne cloue plus les chouettes sur les portes des granges et que la chauve-souris n'est plus considérée comme un vampire, l'homme continue involontairement de chasser ses voisins à plumes ou à poils vivant la nuit. Véritable calamité, la lumière artificielle a de multiples impacts sur la faune nocturne, qui représente en France plus de 60 % des invertébrés et des mammifères, 90 % des amphibiens ou encore 95 % des papillons...

En faisant tout simplement disparaître l'alternance naturelle du jour et de la nuit, ce crépuscule permanent bouleverse les modes de déplacement, de reproduction ou d'alimentation de nombreuses espèces. En premier lieu, elle affecte lourdement leurs capacités de vision et d'orientation. Les oiseaux migrateurs, qui se dirigent notamment grâce aux étoiles, en perdent leur chemin. Les tortues marines, recherchant dès leur éclosion la clarté naturelle de la mer pour y trouver refuge, rampent dans la mauvaise direction, trompées par les lumières du littoral, et finissent par mourir sur la plage, victimes de prédateurs ou de la chaleur

L'ÉCLAIRAGE REPRÉSENTE 15 % DE LA CONSOMMATION MONDIALE D'ÉLECTRICITÉ

Selon le Programme des Nations unies pour l'environnement, l'éclairage représentait en 2013 environ 15 % de la consommation mondiale d'électricité et 5 % des émissions de gaz à effet de serre. La France y consacre chaque année 5,5 TWh (térawattheures), ce qui équivaut à 1 à 2 % de la consommation nationale, soit la puissance délivrée par une tranche de centrale nucléaire récente à pleine charge. Ce sont les communes qui paient la facture, une cinquantaine d'euros par lampadaire et par an.

« L'éclairage public constitue 41 % de leur consommation électrique et 17 % de leur budget énergie », précise Bruno Laffite, de l'Ademe. Des économies sont à faire, le parc actuel étant en grande partie constitué de matériels obsolètes et énergivores : 40 % des luminaires en service ont plus de 25 ans et 30 % sont encore équipés de lampes à vapeur de mercure, les moins efficaces. Progressivement, les lampadaires boules sont démontés et les lampes à vapeur de mercure

remplacées par des lampes à vapeur de sodium haute pression, plus économes. L'Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturne (ANPCEN) invite en outre les maires à aller vers un usage raisonné. « Éclairer moins est une décision politique qui ne coûte rien et permet des économies substantielles, avec des résultats immédiats sur notre santé et notre environnement », commente Anne-Marie Ducroux, présidente de l'association.

> La lumière des lampadaires attire les insectes qui y meurent en masse. L'éclairage public est ainsi la seconde cause de leur mortalité, juste après les pesticides.

V Confondant la clarté naturelle de la mer avec les lumières du littoral, les tortues marines rampent dans la mauvaise direction et finissent par mourir sur la plage.



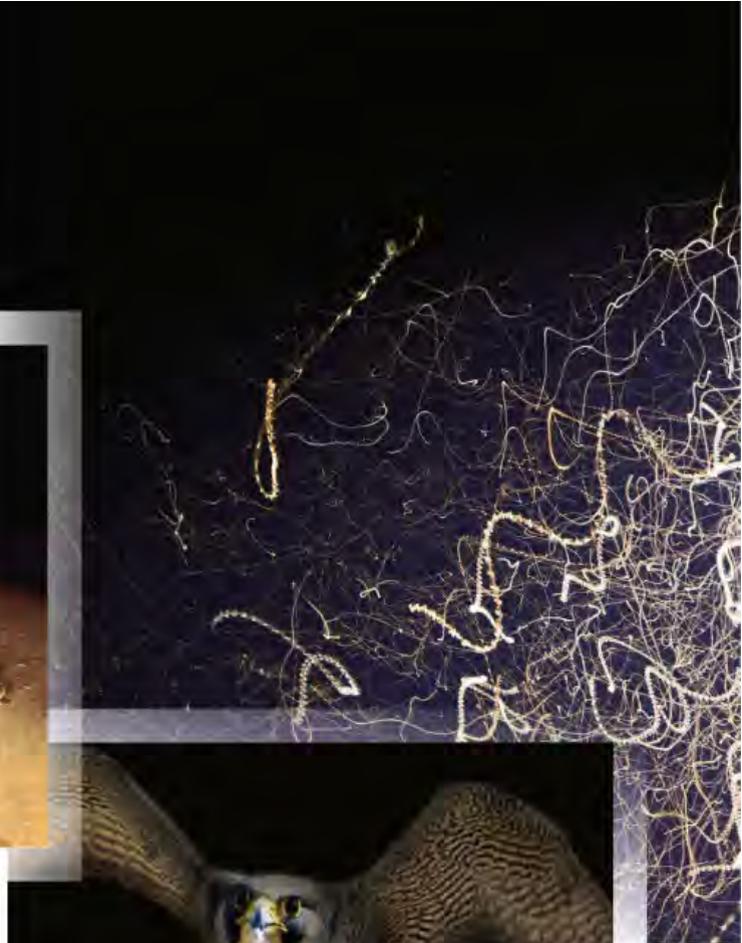
> L'éclairage nocturne des villes fait le bonheur de certains prédateurs. Ainsi, le faucon pèlerin peut désormais chasser les pigeons de jour comme de nuit.

du jour. À la Réunion, de jeunes pétrels de Barau se jettent spontanément sur les lampadaires qu'ils prennent pour des calmars, leurs habituelles proies bioluminescentes !

« *Les rapports de prédation sont déséquilibrés. Si certains opportunistes en profitent, d'autres espèces en pâtissent lourdement* », indique Romain Sordello, chargé de projet au service du patrimoine naturel du Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Le faucon pèlerin chasse dorénavant le pigeon à la lueur des villes, pendant que la pipistrelle virevolte sous les réverbères pour se gaver de papillons, littéralement piégés dans leur cône lumineux qu'ils prennent pour la Lune, leur repère naturel. Car à la nuit tombée se joue un véritable drame sous chaque lampadaire, une hécatombe dans les rangs des insectes complètement désorientés : 150 d'entre eux y périssent chaque nuit, mangés, grillés ou épuisés, soit 1,5 milliard au total rien qu'en France !

UN ENVIRONNEMENT NATUREL DÉGRADÉ

Pour les insectes, l'éclairage public est en effet la seconde cause de mortalité, juste après les pesticides, et la première cause de disparition d'espèces (les plus photophiles). De plus, cette concentration de « plancton aérien », base de la chaîne alimentaire terrestre, sous les points lumineux se fait aux



dépens des zones d'ombre, où les animaux qui s'y cachent ne trouvent plus rien à manger...

Dans cette atteinte quotidienne à leur environnement naturel, certaines espèces y perdent le gîte autant que le couvert. « *Une simple ampoule mal placée sur un clocher fera fuir toute une colonie de sérotines, des chauves-souris qui nichent souvent dans les édifices publics* », indique Laurent Arthur, conservateur-adjoint du Muséum d'histoire naturelle de Bourges. Pour le grand rhinolophe, un autre chiroptère lucifuge (qui fuit la lumière) dont la population régresse en France, une banale route éclairée devient une barrière infranchissable à ses déplacements vitaux, essentiels pour se nourrir, se reposer et se reproduire. Une barrière où les chouettes, éblouies par les phares, finissent d'ailleurs souvent sous les roues des voitures. Selon l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage suisse, les lisières forestières éclairées sont dix fois moins



empruntées que les zones sombres par les renards, les chevreuils et autres blaireaux...

« Nous bataillons depuis des années pour que le concept de trame nocturne soit pris en compte dans les politiques environnementales », souligne Anne-Marie Ducroux, présidente de l'Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturne (ANPCEN). Depuis quinze ans, cette association défend la cause de la nuit, plaidant ses enjeux culturels, sanitaires et environnementaux auprès des institutions nationales, tout en menant de nombreuses actions locales grâce à son réseau de 6 000 bénévoles. Faut-il mettre en place des trames noires en complément des trames

Si les animaux en souffrent, l'homme n'est pas non plus épargné : l'éclairage artificiel nuit à la qualité de notre sommeil

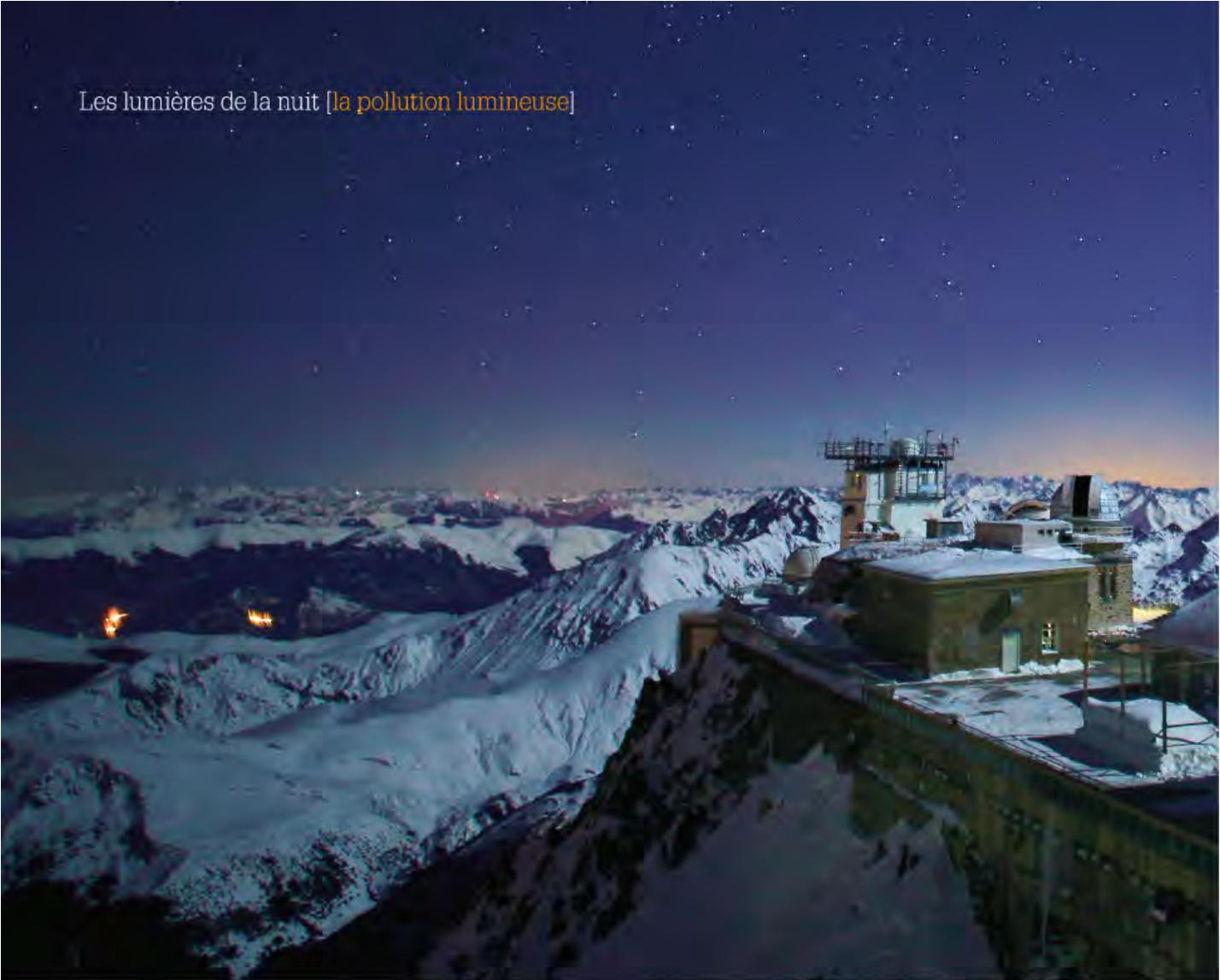
vertes et bleues ? Ces corridors écologiques, instaurés par le Grenelle de l'environnement pour lutter contre la fragmentation des habitats naturels, sont censés garantir la libre circulation des espèces terrestres et aquatiques sur des territoires toujours plus occupés par l'homme. Mais à quoi sert-il de démanteler les barrages pour permettre aux saumons et aux lamproies de remonter nos rivières, si l'on oublie qu'un pont trop éclairé peut suffire à arrêter net leur migration ?

EXTINCTION DES LUMIÈRES À 1h

Suite au Grenelle de l'environnement, la loi 200-967 du 3 août 2009 reprend les grands enjeux de la pollution lumineuse : « Les émissions de lumière artificielle de nature à présenter des dangers ou à causer un trouble excessif aux personnes, à la faune, à la flore ou aux écosystèmes, entraînant un gaspillage énergétique excessif ou empêchant l'observation du ciel nocturne feront l'objet de mesure de prévention, de suppression ou de limitation. » Ainsi, depuis juillet 2012, les nouvelles installations publicitaires et autres enseignes lumineuses doivent être éteintes entre 1 h et 6 h. Les équipements existants bénéficiant d'un délai de six ans pour être en conformité. Et, depuis juillet 2013, les locaux professionnels (vitrines, bureaux) doivent s'éteindre une heure après la fin d'occupation, et l'éclairage des façades au plus tard à 1 h. Mais d'après l'ANPCEN, l'application de cette nouvelle réglementation est très hétérogène. Ainsi, à la Défense, de nombreuses tours de bureaux restent illuminées, même si les systèmes d'extinction automatiques font évoluer la situation dans le bon sens.

Animal parmi les animaux, l'homme n'est pas non plus épargné. D'après une enquête menée fin 2012 par l'Institut national du sommeil et de la vigilance (INSV) en partenariat avec la Mutuelle générale de l'Éducation nationale (MGEN), auprès d'un panel représentatif de la population française, l'éclairage public s'invite dans la chambre de 24 % des personnes interrogées, un chiffre qui atteint même 31 % en ville ! Cet éclairage intrusif a un effet direct sur la qualité de notre sommeil : on dort mal. Mais au-delà de la mauvaise humeur matinale, les effets physiologiques sont inquiétants. « Le sommeil participe à de multiples fonctions de maintenance et de réparation des organes », indique Damien Léger,

professeur au Centre du sommeil et de la vigilance de l'Hôtel-Dieu, à Paris, et président de l'INSV. L'augmentation de la durée d'éclairement, la perte de nos repères diurnes et nocturnes se traduit par une désynchronisation de notre horloge biologique, qui peut avoir des conséquences sur le rythme cardiaque et la tension artérielle, les fonctions rénale et respiratoire, et enfin la sécrétion de nombreuses hormones, dont la bienfaitrice mélatonine, aux effets antioxydants et anticancéreux (voir p. 68).



Ces dérèglements physiologiques avérés pourraient encore s'aggraver. En effet, la libération de mélatonine est particulièrement affectée par les longueurs d'ondes bleutées, entre 460 et 480 nm. Or, c'est dans cette gamme qu'émettent les diodes électroluminescentes, les fameuses LED qui envahissent notre quotidien. Pour l'instant, les seules études d'impact de cette technologie sont produites par les fabricants eux-mêmes, qui n'hésitent pas à vendre leurs produits aux collectivités comme la

de précaution est donc inappliqué, malgré de nombreuses questions à l'heure actuelle sans réponse, sur leurs effets pervers, leur maintenance et leur recyclage. « *Nous avons alerté les autorités très en amont pour qu'une expertise sanitaire et environnementale soit menée par un organisme indépendant* », signale Anne-Marie Ducroux, de l'ANPCEN.

Pluridisciplinaire et transversal, le problème complexe de la pollution lumineuse ne peut se limiter à la question de l'efficacité énergétique.

Pour retrouver notre lien millénaire à la nuit, il faudra non seulement éclairer mieux, mais surtout éclairer moins

solution miracle en matière d'économies, et donc d'écologie. « *L'impact environnemental des LED est nettement moins bon que celui des autres types d'éclairage* », affirmait pourtant l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) dans un rapport publié en 2010. Mis à mal par le juteux marché mondial des LED qui double tous les cinq ans, le principe

Partant du principe trivial qu'une lumière éteinte ne consomme rien et ne pollue pas, les meilleures solutions ne sont-elles pas plutôt du côté de la sobriété énergétique? Sans se restreindre aux solutions techniques d'optimisation de l'éclairage, il est impératif de se poser la question des usages : est-il vraiment nécessaire d'éclairer ici? De quelle façon? Sur quelle durée? L'acceptation de cette



LE PIC DU MIDI DÉFEND SES ÉTOILES

Bien que perché dans les Pyrénées à 2 877 m d'altitude, l'observatoire astronomique du Pic du Midi a connu dans les années 2000 un accroissement constant de sa pollution lumineuse, du fait de villes proches, mais aussi des halos de Toulouse et de Barcelone, pourtant éloignées de 130 km et 250 km à vol d'oiseau ! Une pollution qui menaçait sérieusement la qualité des recherches astronomiques menées sur le site.

Pour retrouver son ciel étoilé, le Pic a alors engagé une véritable dynamique de développement durable fédérant 251 communes du département des Hautes-Pyrénées. « *Durant deux ans, les collectivités, le syndicat départemental d'électricité, EDF et le parc national des Pyrénées ont travaillé pour trouver des solutions, sensibiliser le public et proposer un cahier des charges aux acteurs de l'éclairage public, visant de meilleurs équipements et des usages plus raisonnés* », indique Nicolas Bourgeois, chargé de projet au Pic du Midi.

Sur les 40 000 points lumineux concernés, 10 000 ont déjà été remplacés par des installations plus performantes, des travaux accompagnés par les subventions de l'Ademe et de la région Midi-Pyrénées. Pour évaluer l'efficacité des actions, les gardiens de refuge des Hautes-Pyrénées et les gardes moniteurs du parc national effectuent des estimations régulières de la qualité du ciel étoilé et de la pollution lumineuse dans le cadre du programme « Gardiens des étoiles ». Des données complétées par celles des stations de mesures automatiques installées autour du Pic.

Et cet effort collectif est reconnu et déjà récompensé. Ainsi, en décembre 2013, le site a été labellisé « réserve internationale de ciel étoilé » par l'International Dark-Sky Association, qui combat la pollution lumineuse depuis 1988.

▲ Le Pic du Midi semble offrir une vue imprenable sur la voûte céleste. Et pourtant, visibles à l'horizon, les halos des villes proches gênent l'observation astronomique.

nouvelle approche par les citoyens nécessite de la pédagogie et d'évacuer les idées reçues sur la sécurité. Car si l'éclairage public rassure, ses bénéfices sont loin d'être avérés : la plupart des cambriolages ont lieu en plein jour et les rassemblements nocturnes, foyers potentiels de délinquance, se produisent généralement dans des lieux éclairés. Côté sécurité routière, certaines autoroutes provoquent moins d'accidents graves depuis leur extinction et génèrent des économies de fonctionnement conséquentes, atteignant 900 000 euros par an sur l'A16, dans le Nord ! En résumé, s'il faut veiller à éclairer mieux, il faut surtout penser à éclairer moins. « *Les gens n'ont pas assez conscience de ces réflexions. Il faut les sensibiliser, puis faire confiance à l'intelligence et à la raison* », conclut Hubert Reeves. Un appel au bon sens pour séparer à nouveau le jour de la nuit et rendre à celle-ci la place qu'elle mérite naturellement dans nos vies. ●



> La plupart des technologies permettant de percer la pénombre ont été développées au départ pour l'armée et les forces de l'ordre.

Voir comme en **plein** **jour**

La nuit, l'homme n'y voit guère. C'est pour corriger cette faiblesse qu'ont été inventés la caméra infrarouge, la caméra thermique et le tube intensificateur de lumière. Présentation de ces technologies en plein développement.

PAR OLIVIER LAPIROT

Lil suffira bientôt d'un simple smartphone pour voir de nuit. Même dans la pénombre, voire dans l'obscurité totale, ces couteaux suisses électroniques que sont devenus les téléphones pourront pallier notre handicap en termes de vision nocturne. Et c'est pour bientôt : le fabricant américain FLIR Systems a présenté au dernier CES (Consumer Electronics Show), la grand-messe internationale de l'électronique se tenant chaque année en janvier à Las Vegas, une coque qui s'adapte à un téléphone mobile (l'iPhone en l'occurrence) pour le transformer en caméra thermique. De quoi identifier l'origine d'un bruit suspect dans une rue sombre ou observer discrètement les animaux nocturnes. Car contrairement à ces derniers (voir p. 28), l'homme est un animal diurne qui possède un œil remarquablement inefficace en conditions de faible éclairage. Une nuit de pleine lune peut nous suffire à nous déplacer en relative confiance, mais en deçà de cette luminosité, les formes deviennent très grises et très floues.

Les lumières de la nuit [voir comme en plein jour]

Pour comprendre, il faut savoir que les photorécepteurs tapissant le fond de la rétine sont de deux types : les cônes et les bâtonnets. Quand la lumière est faible, seuls les bâtonnets, 1 000 fois plus sensibles, réagissent. Mais ils ne distinguent pas les couleurs : la nuit, on voit donc en noir et blanc. Par ailleurs, ils sont absents de la fovéa, située dans l'axe optique de l'œil, où sont concentrés les cônes. Ainsi, pour bien voir un objet de nuit, mieux vaut décaler son regard d'une dizaine de degrés. Autre faiblesse de notre œil imparfait, le transfert de l'information des photorécepteurs aux cellules ganglionnaires qui forment le nerf optique est peu performant pour les bâtonnets : une cellule ganglionnaire récupère en moyenne les informations de 120 bâtonnets contre seulement 6 cônes ! Comme elle transmet un seul signal compilant les informations qu'elle reçoit, la résolution spatiale de la vision de nuit est moins bonne que de jour. Et les objets nous apparaissent flous.

DU MATÉRIEL DE PLUS EN PLUS SENSIBLE

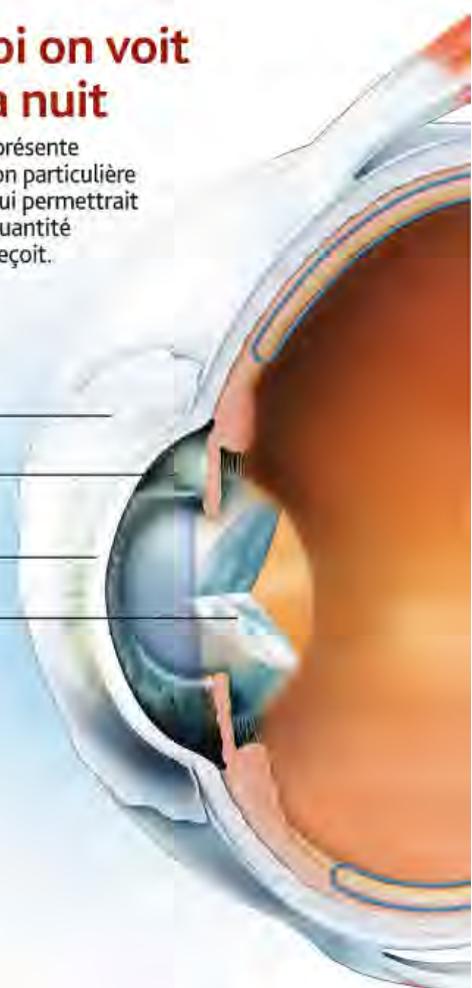
À partir de ce constat, plusieurs technologies ont été mises au point pour percer la pénombre à notre place. D'abord grâce aux capteurs d'images classiques, comme ceux qui équipent nos téléphones, caméscopes et appareils photo numériques. Car leur sensibilité s'étend un peu au-delà du spectre de la lumière visible, dans le proche infrarouge, dont la longueur d'onde est comprise entre 0,75 et 1,4 micromètre (voir p. 114). Une particularité qu'exploitent les caméras de surveillance qui doivent fonctionner jour et nuit. Les fabricants de capteurs ont réussi à augmenter la quantité de lumière capturée et, de ce fait, à améliorer l'image en condition de faible lumière. « Il y a trois ans, une telle caméra de surveillance avait une sensibilité de 0,75 lux en couleur et de 0,1 lux en noir et blanc. Aujourd'hui, on est à 0,05 lux en couleur, et à 0,008 lux en noir et blanc », témoigne Philippe Bénard, ingénieur avant-vente du constructeur suédois Axis Communications.

Seule la caméra thermique fonctionne dans le noir complet, en captant jusqu'au rayonnement thermique d'un glaçon

Autre technologie, celle des tubes intensificateurs de lumière (voir p. 114), qui tentent eux aussi de tirer le meilleur parti du peu de lumière en convertissant les rares photons disponibles en électrons, pour les démultiplier avant de les projeter sur un écran phosphorescent où se dessine la scène observée. Commercialisés sous la forme de cylindres de la taille d'un bouchon de liège, ces tubes équipent les jumelles et

Pourquoi on voit si mal la nuit

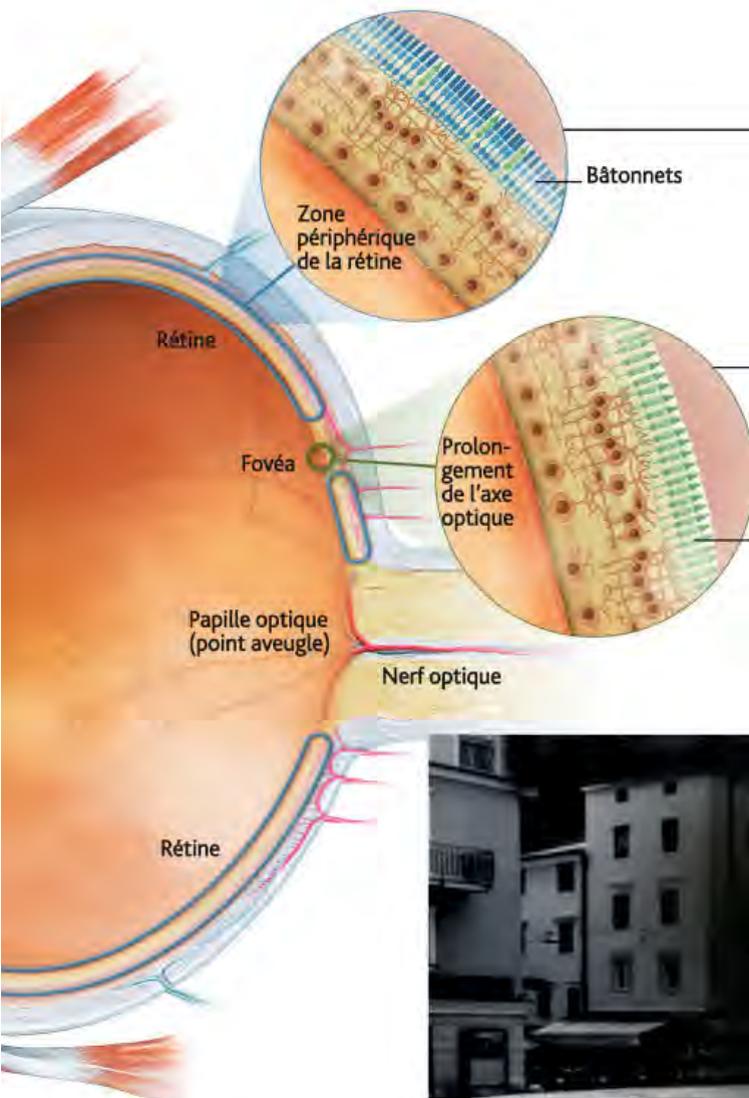
L'œil humain ne présente aucune adaptation particulière à l'obscurité qui lui permettrait d'augmenter la quantité de lumière qu'il reçoit.



Conjonctive
Iris
Cornée
Cristallin

les lunettes de vision nocturne. Les performances du matériel dépendent de l'optique et des conditions de lumière : une lunette de tir avec un grossissement multiplié par 6 permet de distinguer la silhouette d'un homme à 900 m sous la lumière d'un quartier de lune. Cette technologie est majoritairement dévolue aux armées et aux forces de l'ordre, qui représentent 85 % du marché aux États-Unis, selon un rapport du cabinet IBISWorld. Les intensificateurs de lumière devraient s'améliorer en élargissant le spectre de

la lumière collectée : déjà sensibles aux ultraviolets (UV) et aux très proches infrarouges, ils vont le devenir aussi aux infrarouges un peu plus lointains, entre 1 et 3 micromètres. « Ils seront ainsi adaptés à une plus grande variété de terrains, de la jungle très profonde au désert extrême », précise Emmanuel Nabet, directeur de communication du fabricant français Photonis. L'avenir des tubes se conjugue aussi au



Les bâtonnets fournissent des images en noir et blanc et en basse définition

En périphérie de la rétine, les capteurs de lumière sont principalement des bâtonnets. Ils sont très sensibles aux faibles luminosités, mais ils ne distinguent pas les couleurs et transmettent un signal mal défini.

Les cônes sont inefficaces quand la luminosité est faible

Dans l'axe optique de l'œil, la fovéa n'abrite que des cônes. Or, s'ils permettent une vision de jour très précise et en couleur, ils sont très peu sensibles aux faibles luminosités, et donc inefficaces la nuit.

Résultat : une image dégradée de la réalité

Voici, en exagérant un peu, ce que l'œil perçoit pendant la nuit : une image en noir et blanc un peu floue, dont le centre est presque aveugle.



numérique, avec la mise au point d'un capteur sensible aux électrons. En l'associant à la photocathode, qui transforme les photons en électrons, on obtient un dispositif qui fonctionne de jour comme de nuit, délivre directement des images numériques détaillées, et couvre un large spectre, des UV aux infrarouges (IR). Un prototype existe déjà, et Photonis travaille à son industrialisation. Ces tubes numériques pourraient équiper les robots et les drones : le traitement des images se fera directement à bord, réduisant le volume d'informations à transmettre au poste de pilotage. Dotés d'une vision nocturne efficace, ils gagneraient par ailleurs en autonomie.

Enfin, la plus impressionnante de ces technologies est sans doute la caméra thermique (voir p. 115), qui fonctionne dans le noir complet ! Elle capte en effet le rayonnement thermique émis par chaque objet (même le plus froid des glaçons), dans le domaine des infrarouges moyens, entre 3 et 12 micromètres. La caméra thermique mesure ainsi d'infimes variations de température, de l'ordre du dixième voire du centième de degré, à des distances variant

d'une centaine de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres pour les systèmes les plus sophistiqués. À l'origine réservée aux militaires en raison de son coût, elle se popularise depuis une quinzaine d'années, grâce à une version dite non-refroidie, moins coûteuse et moins encombrante. Ainsi, la coque pour smartphone de FLIR Systems contient un nouveau module ultracompact de caméra thermique prêt à l'emploi, Lepton. D'une taille inférieure à une pièce de 5 centimes, « il est 34 fois plus petit et 20 fois plus lumineux que les plus petites caméras thermiques actuellement disponibles », précise le fabricant. Ces modules devraient se généraliser. Le cabinet Yole Développement estime que leur prix passera sous les 100 dollars, et qu'il se vendra 1,12 million de caméras thermiques non-refroidies en 2018, contre 335 000 en 2012. On les retrouvera pour l'essentiel dans les smartphones, ainsi que dans les voitures pour la détection des piétons et des animaux la nuit ou par temps de brouillard. De tels systèmes existent déjà, mais ils sont encore réservés aux modèles haut de gamme des constructeurs automobiles.

3 TECHNIQUES POUR PERCER L'OBSCURITÉ

LE TUBE INTENSIFICATEUR

Ce dispositif amplifie la très faible luminosité d'une scène de nuit. Le principe: les rares photons disponibles frappent une photocathode qui les convertit en électrons. Ceux-ci traversent alors une galette de verre constituée de plusieurs millions de microcanaux dont ils cognent les parois, engendrant de nouveaux électrons. Un électron à l'entrée provoque ainsi l'apparition d'un millier d'électrons en sortie. Reste à les reconvertir en photons, à l'aide d'un écran luminescent au phosphore qu'ils viennent frapper. Une image en dégradé de verts se dessine alors sur l'écran de la caméra ou dans les viseurs des jumelles. Selon les appareils, la luminosité est multipliée par un facteur compris entre 200 à 80 000. Les tubes intensificateurs servent à l'observation de la nature, à la surveillance et à l'armée. Leurs points faibles: ils ne fonctionnent pas dans

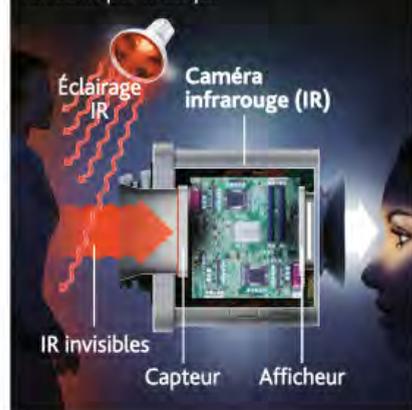
▲ Les tubes intensificateurs amplifient la luminosité nocturne et donnent des images en dégradé de verts.

LA CAMÉRA INFRAROUGE AVEC ILLUMINATEUR

C'est le système le plus simple et le moins coûteux. Il est potentiellement présent sur tous les capteurs d'image, même ceux qui équipent nos téléphones portables. En effet, ces capteurs voient plus que

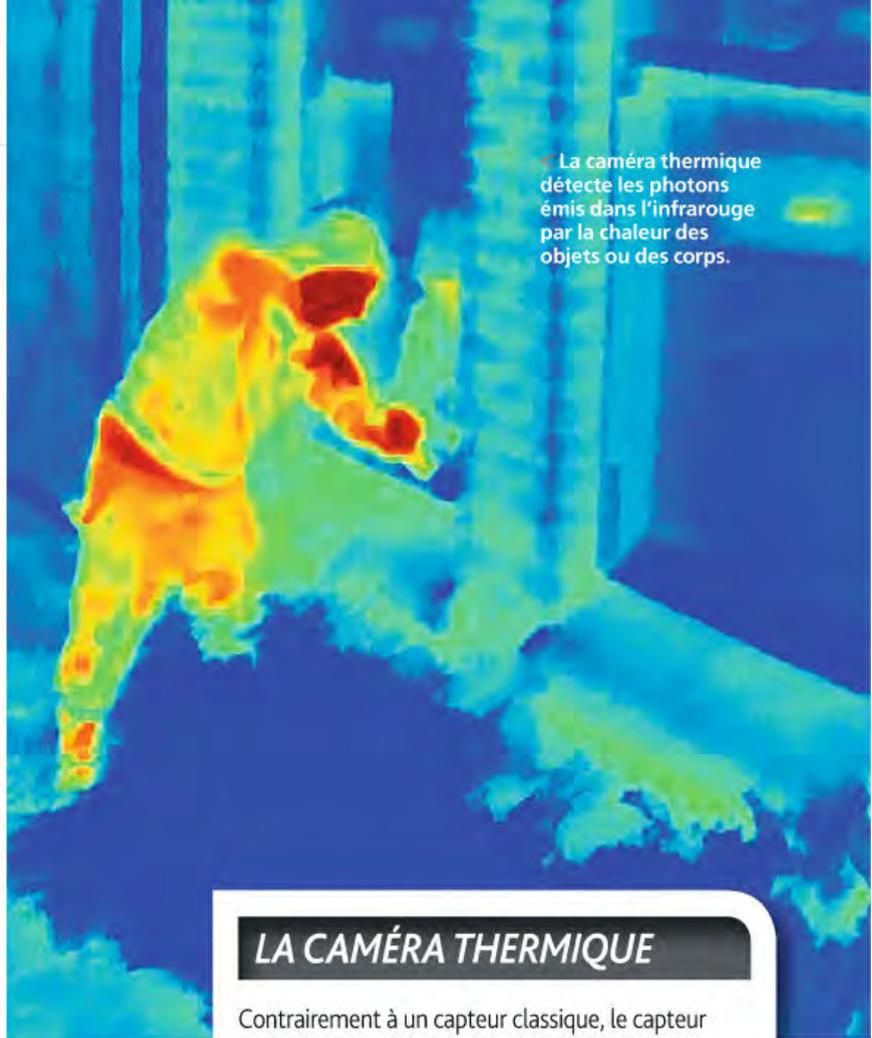
la lumière visible. Ils sont aussi sensibles aux proches infrarouges (entre 0,75 et 1,4 micromètre) que les objets éclairés réfléchissent. Pour éviter de fausser la prise de vue, nos appareils sont donc équipés d'un filtre spécial qui empêche les rayons infrarouges (IR) d'atteindre le capteur. En l'ôtant, on peut filmer en condition de faible éclairage. Pour améliorer le résultat, ces caméras sont équipées d'un illuminateur, une torche qui va éclairer la scène avec une lumière IR invisible. Le capteur reçoit alors les photons IR réfléchis par les objets et restitue une image en nuances de gris. Grâce à cette astuce, ces caméras sont bon marché et fonctionnent aussi bien le jour que la nuit. Mais elles ne permettent pas de voir distinctement à plus de quelques dizaines de mètres. Elles sont utilisées dans la sécurité, l'observation de la nature, et les émissions de télévision.

L'appareil capte les infrarouges proches réfléchis par le corps.



DE LUMIÈRE

l'obscurité totale, et une forte lumière peut dégrader l'écran au phosphore. Ceci dit, les dernières générations de tubes sont capables de moduler la quantité d'électrons émise par la photocathode.



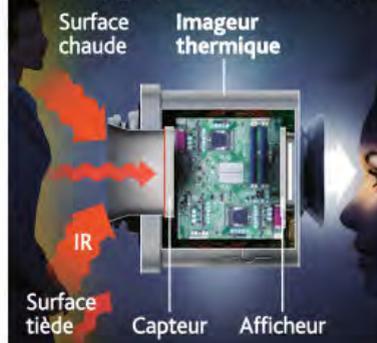
La caméra thermique détecte les photons émis dans l'infrarouge par la chaleur des objets ou des corps.

LA CAMÉRA THERMIQUE

Contrairement à un capteur classique, le capteur thermique est spécifiquement conçu pour être sensible aux infrarouges (IR) dans un domaine de longueurs d'onde allant de 3 à 12 micromètres. Il collecte non pas les photons réfléchis, mais les photons émis par chaque objet selon sa chaleur, même dans le noir total. Pour éviter que le détecteur IR ne soit perturbé par sa propre chaleur, il est maintenu à une température très basse (-130 °C à -200 °C), grâce à un microrefroidisseur. Inconvénients: la consommation électrique, la taille, et le coût (plusieurs dizaines de milliers d'euros). Réservée aux militaires pour la vision de nuit, une telle caméra est capable de voir jusqu'à 50 km! Un autre système, moins onéreux, permet de se passer du refroidissement et décele

néanmoins des variations de température de l'ordre des 5 centièmes de degré. Il est utilisé par exemple pour traquer les déperditions de chaleur dans les bâtiments, par les pompiers pour repérer les personnes prisonnières d'un incendie, ou encore pour les dispositifs de surveillance.

L'appareil capte les infrarouges lointains dégagés par la chaleur du corps.



La caméra infrarouge avec illuminateur ne permet de voir distinctement qu'à une dizaine de mètres.



^ Seuls quelques champignons (ici, *Mycena illuminans*) sont naturellement luminescents. Mais la propriété est transposable aux plantes.

Existe-t-il des éclairages publics « naturels » ?

Oui ! L'idée est simple, et efficace dans le cas de villages enclavés dans des vallées sombres : il s'agit d'installer des miroirs géants pilotés par ordinateur sur les flancs des montagnes pour renvoyer en continu la lumière du soleil en contrebas. Appelé héliostat, ce dispositif est utilisé depuis 2006 à Viganella, un petit village du nord de l'Italie, qui ne recevait aucun rayon de soleil de la mi-novembre à la fin janvier. Désormais, la place du village bénéficie d'un bain de soleil tous les jours de l'année. Le même système de miroirs a aussi été installé en 2013 à Rjukan, en Norvège.

L.G.



Peut-on s'éclairer à la bioluminescence ?

Dans le film *Avatar*, la foisonnante végétation de la planète Pandora est lumineuse : elle éclaire la nuit de douces lueurs colorées. Sur Terre, seuls quelques champignons ont cette propriété. Mais des recherches visent à pallier ce manque. Deux sociétés américaines, Bioglow et Glowing Plant, prévoient même une commercialisation de plantes lumineuses dans l'année. Le principe ? Modifier le génome de deux espèces, *Nicotiana glauca* et *Arabidopsis thaliana*, de manière à ajouter une séquence d'ADN qui leur confère la bioluminescence. Pas de quoi, cependant, en faire des lampadaires : les plantes ne dépassent

pas les 15 cm, ne vivent pas plus de quelques mois, et leurs feuilles émettent un halo verdâtre qui ne se voit que dans le noir complet.

UNE AMPOULE À BACTÉRIES

« À l'avenir, nous espérons augmenter leur luminosité – peut-être au niveau de celle d'une luciole – et introduire la bioluminescence dans des plantes paysagères », prévoit Alexander Krichevsky, fondateur de Bioglow. Elles pourraient éclairer un jardin et signaler le bord des routes. Pas de quoi remplacer une ampoule pour l'instant ! À moins d'imaginer un autre système : en 2011, le fabricant néerlandais Philips a

présenté une lampe composée de fioles remplies de bactéries lumineuses. Chaque fiole est reliée à un réservoir de nourriture qui pourrait être alimenté par les déchets organiques du foyer. Sur le même principe, la jeune société française Organight a imaginé des autocollants bioluminescents à coller sur les vitrines des magasins. Entre deux couches de plastique biodégradable est injecté un micro-écosystème de bactéries alimentées par des algues. Le projet est encore au stade de concept, mais « l'hypothèse a été validée par des scientifiques », se réjouit Maëlle Chassard, cofondatrice d'Organight. **O.L.**



< Depuis 2013, ces miroirs géants reflètent le soleil vers la ville encaissée de Rjukan (Norvège).

La bioluminescence se voit-elle depuis l'espace ?

Oui. Un événement de bioluminescence océanique spectaculaire, rapporté par des marins en janvier 1995 au large de la Somalie, a été retrouvé sur des images satellites en 2005 par un scientifique californien. Il s'agissait d'une grande nappe de plus de 17 000 km² (soit presque deux fois la taille de la Corse !) qui a brillé pendant trois nuits consécutives dans l'océan Indien. On pense que ce phénomène, encore mal analysé, serait dû à une bactérie bioluminescente, *Vibrio harveyi*, qui s'épanouirait à la faveur de blooms planctoniques (une augmentation très rapide de la concentration d'une micro-algue). **C.B.**

« Jusqu'à présent, aucun cas de nyctalopie humaine n'a jamais été constaté.

Est-il possible d'être nyctalope ?

Doté d'un regard bleu azur très rare chez les Asiatiques, ce jeune chinois, Nong Yousui, serait nyctalope, c'est-à-dire capable de voir dans le noir. C'est du moins ce que soutient une vidéo qui a fait le tour d'Internet. Des journalistes ont tenté de le vérifier en enfermant l'enfant dans une salle obscure filmée et en lui soumettant un questionnaire, défi qu'il semble capable de relever haut la main ! Mais en réalité, sa

capacité n'a jamais été prouvée scientifiquement, et les spécialistes n'accordent pas de crédit à cette histoire d'enfant « aux yeux de chat ». Car aucun cas de nyctalopie humaine n'a jamais été constaté – même si nous ne sommes pas absolument égaux en termes de vision nocturne, certains possédant plus de bâtonnets (les cellules de la rétine qui permettent de voir en gris par faible luminosité) que d'autres.

Il existe cependant une pathologie, l'achromatopsie, qui est parfois confondue avec la nyctalopie. Elle entraîne une dégénérescence des cônes (les cellules qui permettent la vision diurne en couleurs) sans affecter les bâtonnets. Les personnes qui en sont atteintes voient donc mieux dans la pénombre que de jour, où la lumière les aveugle. Mais leur vision nocturne n'est toutefois pas supérieure à la normale. L.G.

La lumière artificielle abîme-t-elle les yeux ?

Peut-être. Il est possible que l'augmentation des cas de DMLA (dégénérescence maculaire liée à l'âge) dans les pays développés soit imputable à notre exposition désormais prolongée à la lumière artificielle, en particulier à la lumière bleue des écrans, à laquelle nous nous soumettons de plus en plus pendant la soirée.

C.B.

Quel est l'éclairage optimal pour bien voir ?

Selon l'INRS (l'Institut national de recherche et de sécurité, qui organise la prévention des risques au travail), 500 à 1000 lux sont nécessaires pour bénéficier d'une bonne acuité visuelle pour lire ou écrire (1000 lux correspondant à un fort éclairage artificiel, comme celui d'une lampe de bureau). En revanche, pour les tâches ne nécessitant pas de distinguer les détails, comme le repassage, l'éclairage normal des habitations (300 lux) convient. Pour comparaison, l'éclairage du Soleil par temps clair peut atteindre les 100 000 lux.

K.B.

CONSULTEZ EN LIGNE 25 ANS DE SCIENCE & VIE !

Avec LES GRANDES ARCHIVES SCIENCE & VIE

Retrouvez
+ de 300 numéros
de Science & Vie depuis 1989



Consultez
+ de 15000
articles

Faites des
recherches efficaces
grâce à un moteur
de recherche
performant



Parcourez les
grands dossiers
conçus par la rédaction

**Abonnez-vous
aujourd'hui**
pour bénéficier d'une
consultation illimitée
pendant **1 an**

**TARIF
ABONNÉ**

12€
au lieu de 36 €

**TARIF
LECTEUR**

36€
au lieu de 36 €

www.archives.science-et-vie.com

BULLETIN D'ABONNEMENT

A compléter et à renvoyer dans une enveloppe timbrée accompagné du règlement à Science & Vie - B341 - 60647 Chantilly cedex

Oui, je m'abonne aux Grandes Archives.

Je suis abonné :

Je règle la somme de 12 €

761 825

J'aurai besoin de mon n° d'abonné pour me connecter.

Je ne suis pas abonné :

Je choisis l'abonnement aux archives seules :
je règle la somme de 36 €

761 833

Je choisis l'abonnement au magazine et aux
archives (soit 35 €* l'abonnement + 12 € l'accès aux archives) :
Je règle la somme de 47 €

761 841

NOM : _____

PRÉNOM : _____

ADRESSE : _____

CODE POSTAL : _____ VILLE : _____

TÉL. : _____

► Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E MAIL : _____ @ _____

Adresse mail obligatoire pour recevoir mes identifiants

Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori)

Je joins mon règlement par :

chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

Date d'expiration _____ Code crypto _____

(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Date et signature obligatoire

► Dès réception de mon paiement je recevrai mes identifiants pour me connecter ◀ C266B

Je m'abonne en ligne sur :
www.maboutiquemagazines.com

*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1^{er} abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/05/2014 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 €. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées.
Service Abonnements - Science & Vie - 8 rue François Cray 92543 MONTROUX Cedex. RCS B 452 791 262 - Capital : 1 717 360 €.



Prix public: 25€
23,75€
 seulement

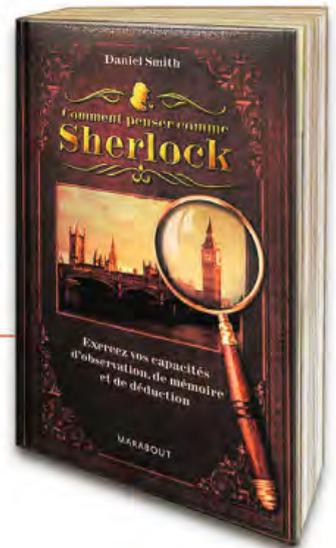
RÉDUCTION SPÉCIALE -5%

« Élémentaire, mon cher Watson! »

Avec des tests et de exemples tirés des romans originaux dont Sherlock Holmes est le héros, apprenez tous les trucs et astuces du célèbre détective pour mieux observer, mémoriser, déduire et raisonner.

Comment penser comme Sherlock ?
12,90€

AUTEUR : DANIEL SMITH.
 DIM. 13 x 20 CM.
 192 PAGES.
 MARABOUT.



Quel fut l'avion de chasse le plus rapide ?

Quelle était la précision comparée d'un fusil Garand M1 américain et d'un Kar 98 allemand ? etc. Cette encyclopédie répertorie 500 armes et systèmes d'armes utilisés en 39-45 avec des illustrations et infographies précises.

Les Armes de la Seconde Guerre mondiale

DIM. 22,7 x 29,7 CM. 224 PAGES. ACROPOLE.

INNOVANT ET ULTRA-PRATIQUE!

Cette photographie est un radiateur!

Original et innovant, ce chauffage ressemble à s'y méprendre à une photographie d'artiste de Paris la nuit. Efficace et puissant, il couvre une pièce de 30 m².



PAIEMENT SANS FRAIS 3x

149,90€
 seulement
 FRAIS D'ENVOI COLISSIMO 72H OFFERTS

Radiateur 'Artiste' Paris Design

CHEMIN'ARTE. PUISSANCE MAX. 2000W. RÉSISTANCE EN ALUMINIUM HAUTE PERFORMANCE. CONSOMMATION MAÎTRISÉE. THERMOSTAT RÉGLABLE. SE FIXE AU MUR OU SE POSE AU SOL (SUPPORT ET PIEDS INCLUS). ACIER ET VERRE TREMPÉ SÉCURITÉ ANTI-COUPURES.
 DIM. : 86 x 9 x 47 CM. 9 KG.

89€
 seulement

FRAIS D'ENVOI COLISSIMO 72H OFFERTS



Tous vos négatifs, diapos et photos sur votre ordinateur!

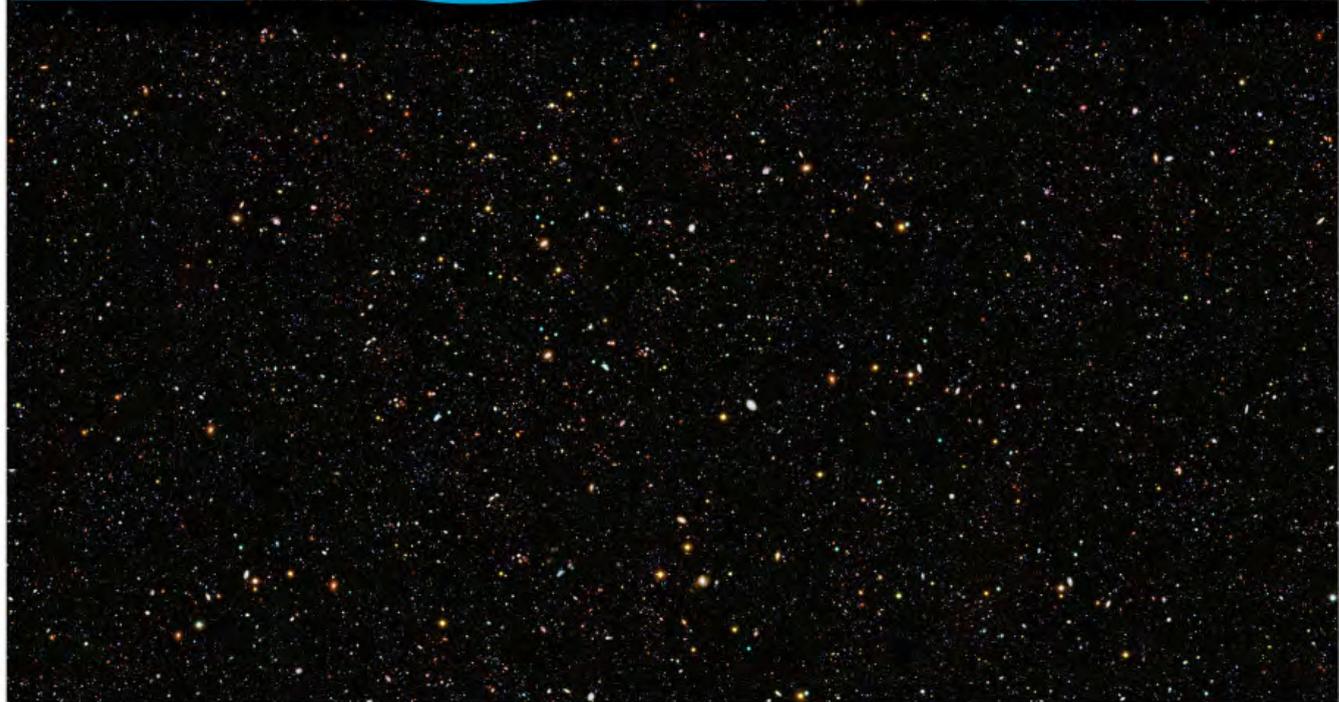
Simple d'utilisation, cet accessoire hi-tech vous permet de sauvegarder vos négatifs, diapos et anciennes photos en les convertissant en images numériques. Doté d'une résolution de 5 millions de pixels, archivez des images de belle qualité.

Scanner Diapos Négatifs Photos Yes We Scan®

RÉSOLUTION SCANNER : 5M.PIXELS JUSQU'À 1800 DPI (ET 3600 DPI PAR INTERPOLATION). CAPTEUR IMAGE : 5.1 MÉGA PIXELS CMOS. OBJECTIF : F/3.6, f= 4.83, FOCUS RANGE : 51,5 MM (MACRO) 171 MM (NORMAL). INTERFACE USB. FORMATS JPG. CONTRÔLE EXPOSITION ET BALANCE COULEUR : AUTOMATIQUE. SOURCE LUMIÈRE 7x2 LED BLANCHES, LUMIÈRE NOIR (3 LED BLANCHES). ALIMENTATION : VIA USB. MANUEL D'INSTRUCTIONS. CD LOGICIEL. CÂBLE USB.



LUNINI



UNIVERS

Histoire d'une nuit sans fin

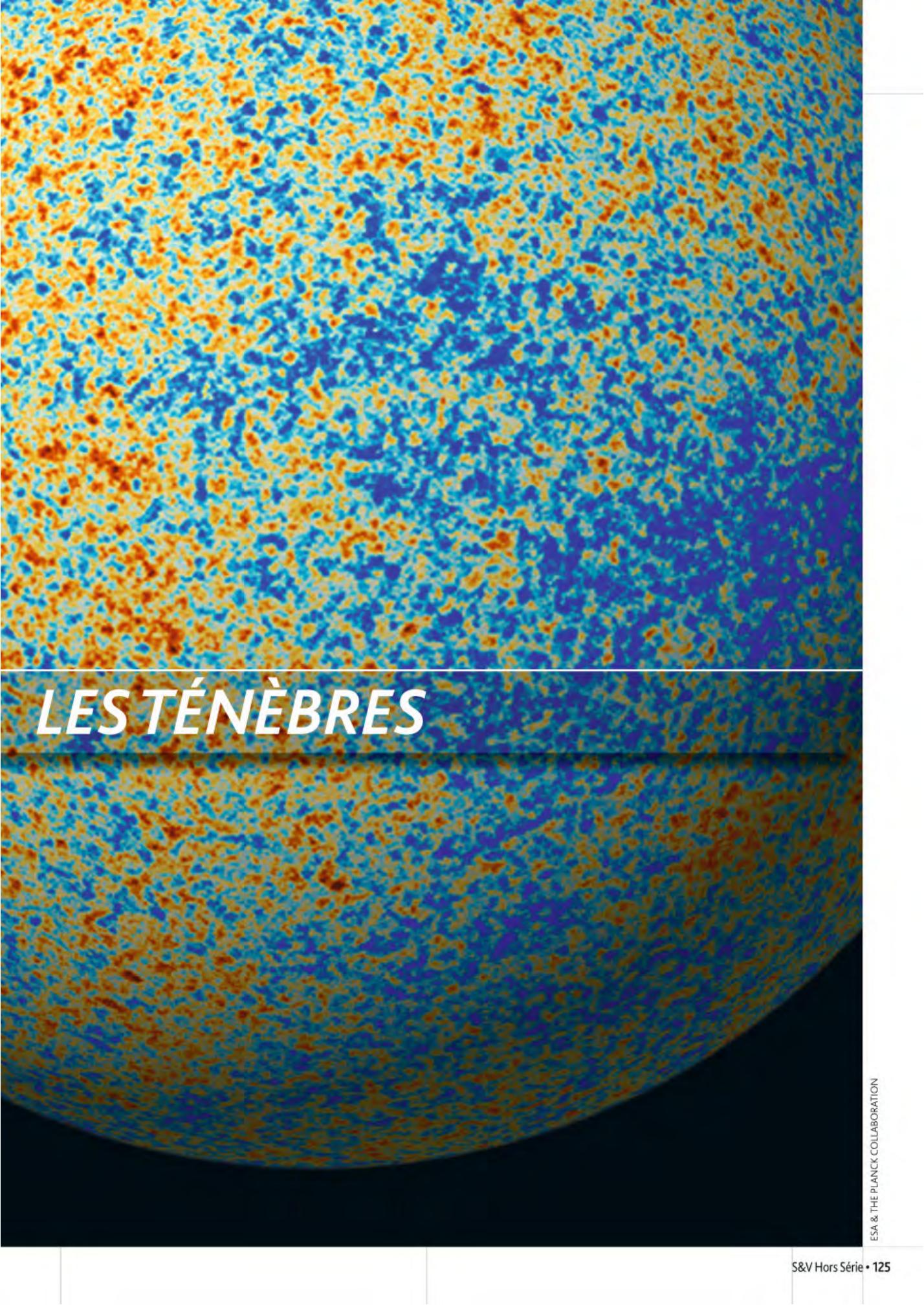
Né dans l'obscurité, l'Univers y retournera. Du big bang à la disparition de la dernière étoile, récit d'une longue nuit cosmique entrecoupée de rares instants de lumière.

PAR MATHIEU GROUSSON

380 000 ANS APRÈS LE BIG BANG

UN PREMIER FLASH SECOUE

On imagine souvent le big bang comme un violent feu d'artifice déclenché par une mystérieuse étincelle. La réalité est bien plus sombre! Même si les photons, particules de lumière, apparaissent très tôt dans l'histoire de l'Univers (un centième de milliardième de seconde après le big bang), ils sont alors incapables de se propager tant la matière, soupe informe de particules, est dense. Mais peu à peu, l'Univers s'étend et se refroidit. Et, 380 000 ans après le big bang, la température devient assez basse pour que les atomes se forment. Les photons sont alors brusquement libérés. Le temps d'un formidable flash, ils illuminent tout le cosmos... qui replonge *illico* dans la nuit, faute de source de lumière pour l'éclairer. De ce premier flash dans la nuit, il nous reste cette image, réalisée en mars 2013 par le satellite Planck avec une précision inégalée.



LES TÉNÉBRES

Histoire d'une nuit sans fin



LES PREMIÈRES LUEURS

TOM ABEL & RALPH KAEBLER/KIPAC, STANFORD



Après la création des atomes, la matière de l'Univers, qui perd son extrême densité, commence à se laisser aller à son penchant naturel pour la gravitation. Elle forme des grumeaux qui se concentrent, puis s'effondrent sur eux-mêmes jusqu'à engendrer les premières étoiles (simulées ci-contre), quelques centaines de millions d'années après le big bang. Tels des phares géants dans la nuit, elles scintillent au cœur des premières galaxies (ci-dessous), annonçant les premières lueurs de l'aube. De plus en plus nombreuses, elles diffusent de plus en plus de lumière à travers le ciel. Le jour se lève enfin dans l'Univers. La nuit cosmique s'achève... pour l'instant.

QUELQUES CENTAINES DE MILLIONS D'ANNÉES PLUS TARD

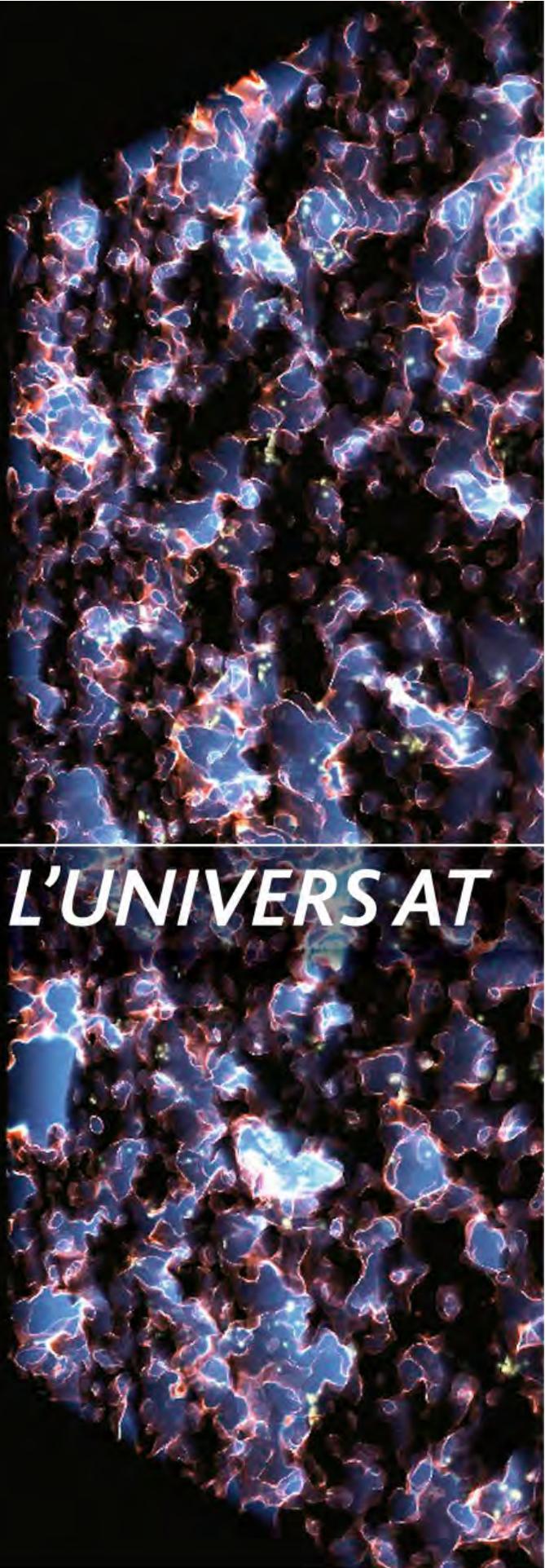
PERCENT LA NUIT COSMIQUE

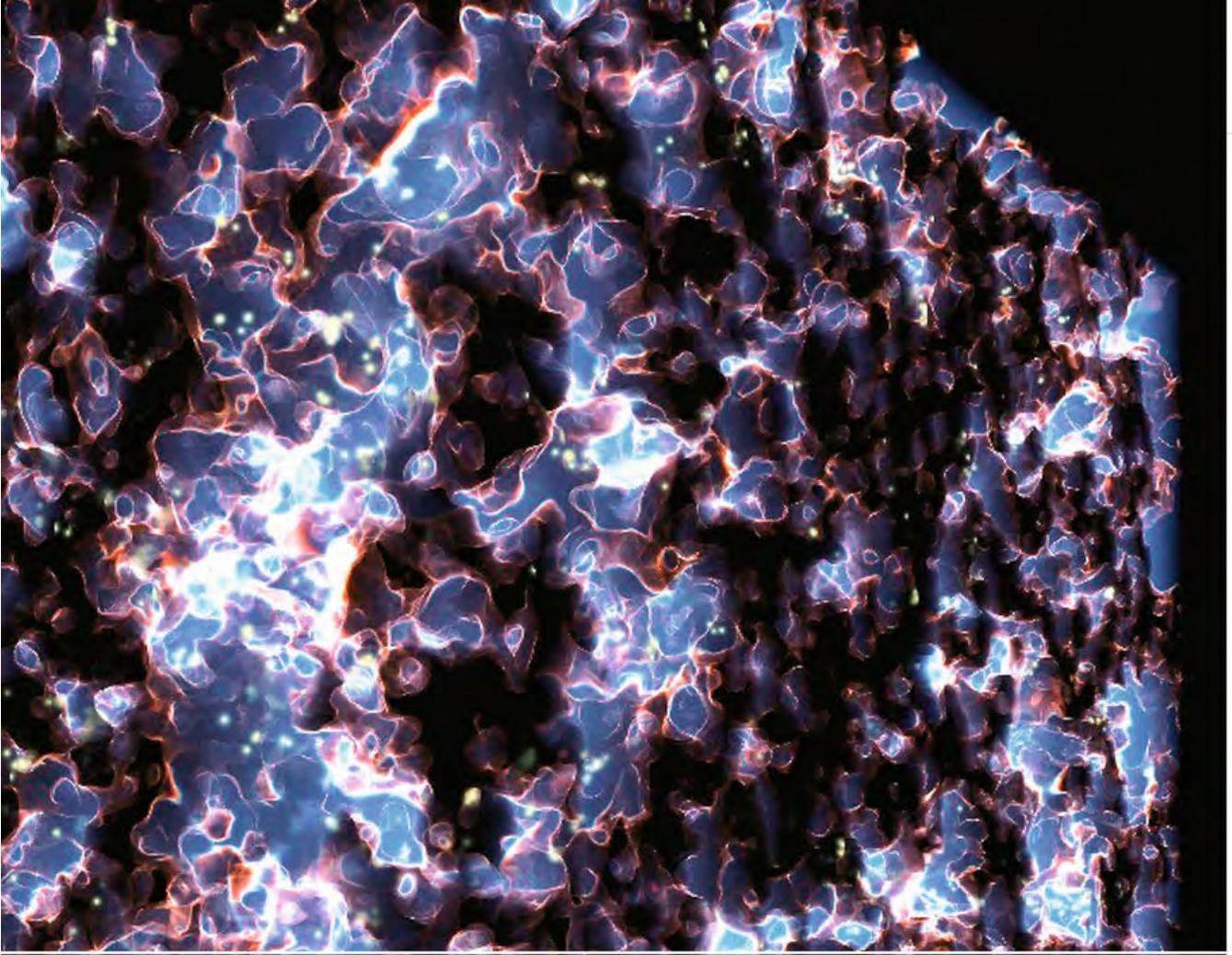


VERS 4,5 MILLIARDS D'ANNÉES

LA LUMIÈRE DE L'UNIVERS AT

Après la naissance des premières galaxies, et au fur et à mesure que la production d'étoiles s'intensifie, un phénomène vient peu à peu renforcer le règne de la lumière dans l'Univers: il devient de plus en plus transparent. En effet, la matière interstellaire, bombardée par les photons en provenance des étoiles, s'ionise petit à petit: les électrons sont arrachés aux atomes. C'est la réionisation (simulée ci-contre). Or, privés de leurs électrons, les atomes n'absorbent plus les photons, et l'Univers devient ainsi complètement transparent aux rayons lumineux produits par les étoiles. Il atteint une parfaite transparence dès l'âge de 1 milliard d'années. La lumière atteint son zénith un peu plus tard, entre 4,5 et 7 milliards d'années, alors que la production d'étoiles atteint son maximum.





TEINT SON ZÉNITH



Histoire d'une nuit sans fin

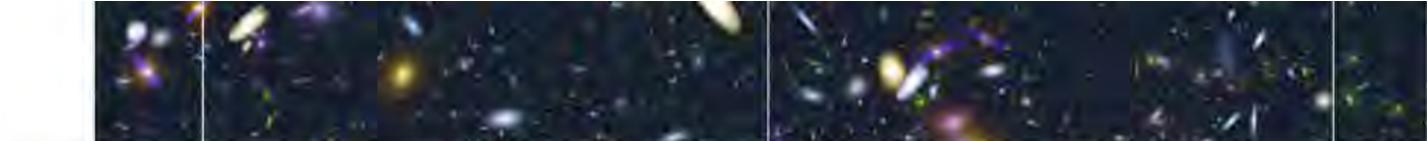
MAIS DÉJÀ, LE



AUJOURD'HUI ET APRÈS

RETOUR À LA NUIT S'ANNONCE

L'expansion de l'Univers a permis à la lumière de s'affranchir de la matière. Mais elle a un revers : en s'accélégrant, elle éloigne les galaxies les unes des autres de plus en plus vite. C'est ce que l'on observe aujourd'hui, 13,8 milliards d'années après le big bang. Et dans 100 milliards d'années, la fuite des galaxies sera si rapide que plus aucune ne sera visible depuis ses voisines, et la nuit se fera de plus en plus épaisse. Puis, vers 100 000 milliards d'années, les étoiles s'éteindront peu à peu. Avant que, vers 10 millions de milliards de milliards d'années (10^{25}), les dernières galaxies ne soient happées par leurs trous noirs centraux. Ne resteront alors plus que les quelques photons issus de leur évaporation pour parcourir la nuit infinie du cosmos...



À l'échelle du temps cosmologique, l'Univers est une entité nocturne

L'Univers naquit d'un big bang il y a 13,8 milliards d'années... dans une totale obscurité. Car si l'acte de naissance du cosmos a libéré à travers l'espace et le temps une fantastique quantité d'énergie à l'origine de chaque chose (particules, atomes, étoiles, galaxies...), il est pour autant loin de ressembler au fantastique feu d'artifice que l'on se représente parfois. Encore moins au *fiat lux* imaginé par le pape Pie XII en 1951, dans une tentative de réconcilier création divine et théorie scientifique. Bien au contraire, l'engendrement de l'Univers s'est produit sans l'émission de la moindre lueur. Et si le cosmos brûle aujourd'hui de mille feux incandescents, cette ère de lumière ne durera que le temps d'un battement de cils au regard de l'éternité qui l'attend.

Considéré dans la durée, l'Univers est une entité toute nocturne. Au petit matin de son existence, cela ne fait pas l'ombre d'un doute, et l'expression « étincelle initiale », dont on gratifie parfois sa naissance, est pour le moins inappropriée. Minuscule, brûlant et dense, l'Univers n'est alors qu'une vague trame agitée de soubresauts d'origine quantique, au sein desquels espace, temps et matière se confondent, rendant même illusoire la possibilité de distinguer, au milieu des ténèbres originelles, ce qui fait figure de contenant ou de contenu. D'un mot, aucune des entités ou notions qui nous sont familières n'existe ni n'a le moindre sens. Vide du moindre grain de lumière (ou photon), l'Univers est plongé dans une nuit d'encre. Et il en demeure ainsi jusqu'au tour de 10^{-11} seconde après le big bang. À la faveur du refroidissement qui accompagne l'expansion, les photons accèdent alors à une existence autonome, et signent l'acte de naissance de la lumière.

D'un point de vue énergétique, le cosmos est même désormais totalement dominé par la lumière, au détriment de la matière. Pourtant, même si l'univers est alors plus brillant qu'il ne l'a jamais été, impossible d'y distinguer quoi que ce soit à l'intérieur...

Car pour l'heure, la densité de l'Univers est telle que la lumière est incapable de s'échapper de la matière. Elles sont indéfectiblement liées l'une à l'autre, à travers d'incessantes collisions entre électrons et photons. Impossible pour ces derniers de s'échapper de cette « purée de pois » et de former un rayon lumineux capable de se propager. La dynamique même de la matière est alors dictée par celle du rayonnement qui, extrêmement rétif à la compression, tue dans l'œuf toute velléité de la matière de s'effondrer sur elle-même sous l'effet de sa propre gravitation. Maîtresse de l'Univers, la lumière non seulement n'éclaire rien, mais elle empêche étoiles et galaxies d'entamer leur gestation ! Bref, ne laissant rien filtrer, l'Univers est totalement opaque.

UN FLASH PUISSANT PERCE L'OBSCURITÉ

Et il en reste ainsi pendant 380 000 ans. Après quoi, la température tombe à quelques milliers de degrés, suffisamment bas pour que l'agitation thermique des particules de matière, diminuée, autorise tout à coup chaque noyau atomique à se parer d'un cortège d'électrons. Un phénomène que les physiciens nomment « recombinaison ». Or, une fois intégrés dans un édifice atomique, les électrons ne peuvent plus entraver les photons dans leur course. L'Univers devient donc brusquement transparent et les photons sont libérés dans un flash sans équivalent, émis en chacun de ses points et ce, dans toutes les directions en même temps !

En témoigne encore aujourd'hui ce que les spécialistes appellent le « fond diffus cosmologique ». Aussi nommé CMB (pour *Cosmic Microwave Background*) ou rayonnement fossile, il est la plus ancienne lumière émise par l'Univers.

Ce vestige baigne encore aujourd'hui le cosmos tout entier, transportant avec lui, à travers ses hétérogénéités spatiales, de précieuses informations sur les propriétés de l'Univers primordial. Certes, la longueur d'onde des photons du CMB a été à ce point étirée par l'expansion que leur énergie s'avère désormais incroyablement basse. Il n'empêche, afin de mesurer à quel point la libération de ce rayonnement dépasse tout ce qui est imaginable en termes d'émission lumineuse, il n'est que de considérer qu'il se trouve actuellement 400 photons fossiles dans chaque centimètre cube d'Univers. Quand les photons visibles issus des étoiles et des galaxies s'y trouvent à raison de 0,001 !

Pourtant, après l'émission du fond diffus cosmologique, l'Univers est très loin d'en avoir terminé avec la nuit... Paradoxalement, il pénètre même alors dans ce que les cosmologistes appellent « l'âge sombre ». Et pour cause, si l'Univers a bien émis un flash au moment de la recombinaison, aucune nouvelle source lumineuse ne vient ensuite l'éclairer. Cette fois-ci, ce n'est pas directement la lumière qui va sauver le cosmos de la nuit intégrale. Mais la matière qui, désormais libre de se laisser aller à son penchant pour la gravitation, commence un peu partout à s'effondrer sur elle-même. Précisément, si elle n'est certes encore qu'une soupe informe et bouillante d'atomes, elle présente quelques grumeaux hérités des fluctuations quantiques des tout premiers instants. Des îlots de surdensité qui vont jouer le rôle de puits gravitationnels où la matière va petit à petit se concentrer en même temps que l'Univers continue son expansion globale.

Ainsi, après quelques centaines de millions d'an-

supernova. Des astres dont les astrophysiciens n'ont pas encore réussi à observer la moindre trace dans le ciel lointain, mais dont l'existence passée est nécessaire à la synthèse de certains éléments chimiques lourds, tel le fer. Quoi qu'il en soit, avec ces étoiles, l'Univers tient enfin ses premiers phares stellaires, dont la lumière troue la longue nuit qui perdure depuis le commencement.

LA NUIT COSMIQUE EST TERMINÉE

Puis, au sein des galaxies et des amas de galaxies, la production d'étoiles s'intensifie. La nuit cosmique est désormais bel et bien terminée. D'autant qu'un nouveau phénomène s'enclenche, à l'origine d'une clarté renouvelée de l'Univers : la réionisation. Les collisions entre les particules de lumière d'origine stellaire et les atomes du gaz baignant l'Univers provoquent en effet l'ionisation de ces derniers. Noyaux atomiques et électrons du gaz interstellaire se séparent de nouveau. Au début du processus, qui débute avec les étoiles de population III, la réionisation ne concerne que quelques bulles éparses autour de chaque astre. Mais le nombre d'étoiles augmentant, de même que le volume de gaz balayé par la lumière de chacune d'elle au cours du temps, c'est l'intégralité du cosmos qui se trouve *in fine* réionisé. L'Univers affiche alors environ 1 milliard d'années.

Or, désormais, la soupe électronique qui en résulte est bien trop diluée pour entraver à nouveau la propagation des photons. De fait, les théoriciens estiment que statistiquement un photon croise un électron sur son chemin pour une distance parcourue supérieure au diamètre de l'Univers observable ! En outre, alors qu'aux énergies considérées un atome neutre est toujours susceptible d'absorber un photon (il cède son énergie à un électron qui passe alors dans un état excité), ce n'est pas le cas des noyaux atomiques. En un mot, une fois la réionisation ter-

La lumière de l'Univers est maximale entre 4,5 et 7 milliards d'années, alors que la production d'étoiles atteint son maximum

nées, dans ces embryons de galaxies qui sont tout juste des zones plus denses en gaz, apparaissent les premières étoiles, dites de population III. Des géantes dont les masses sont comprises entre 30 et 1 000 masses solaires (les étoiles actuelles ont une masse comprise entre 0,4 et 120 masses solaires), véritables colosses stellaires brûlant leur carburant en à peine un million d'années avant d'exploser en

minée, l'Univers affiche un niveau de transparence inégalé : la lumière s'y propage sans la moindre entrave. La lumière de l'Univers parvient même à son zénith entre 4,5 et 7 milliards d'années, alors que la production d'étoiles atteint son maximum.

Pour autant, à l'échelle des temps cosmologiques, le crépuscule guette déjà. Avant le retour d'une nuit cette fois-ci éternelle et glacée, dont le messager

rôle jusque dans les moindres interstices interstellaires. Son nom : l'énergie noire, cette mystérieuse entité dont la nature échappe encore aujourd'hui à toute tentative de modélisation, mais dont l'existence est, depuis bientôt vingt ans, bien plus qu'une hypothèse. Et pour cause, c'est elle – à défaut d'autre explication – qui serait responsable de l'accélération de l'expansion cosmique, confirmée par plusieurs observations indépendantes.

LA LUMIÈRE DES GALAXIES S'ÉLOIGNE

Mais quel lien secret, si ce n'est le nom, l'énergie sombre entretient-elle avec la nuit ? Pour le comprendre, il faut commencer par se souvenir que la vitesse de la lumière étant finie, le rayon de l'Univers observable est limité par le temps durant lequel une particule de lumière a pu voyager depuis la création de l'Univers, soit aujourd'hui 13,8 milliards d'années. Certes, l'Univers observable augmente ainsi en volume au fil du temps. Sauf que, simultanément, du fait de l'expansion accélérée, l'espace se dilate et entraîne les galaxies loin de nous. Si bien qu'elles sont toutes amenées à disparaître progressivement de notre champ de vision.

Pour être parfaitement précis, ce phénomène de disparition ne concernera pas les quelques galaxies voisines de la Voie lactée. Celles-ci, sous influence gravitationnelle mutuelle, se rapprochent les unes des autres. Par exemple, dans 5 milliards d'années, il est prévu que la galaxie d'Andromède, située à

encore : celle de la connaissance. Car si d'hypothétiques êtres intelligents scrutent alors le ciel, sans la possibilité d'observer la fuite des galaxies comme l'a fait Edwin Hubble au début du siècle dernier, comment pourraient-ils conclure à l'expansion de l'Univers ? À l'inverse, dans l'œil d'un télescope, leur monde évoquera étrangement l'Univers statique et éternel imaginé par Einstein.

Évidemment, il n'est pas impossible que nos successeurs découvrent fortuitement l'existence du fond diffus cosmologique, dont seule une théorie d'un Univers à l'origine chaud et dense en expansion peut rendre compte. Si ce n'est que dans 100 milliards d'années, l'intensité du CMB sera 1 000 milliards de fois plus faible qu'aujourd'hui. Et dans 345 milliards d'années, sa longueur d'onde, étirée par l'expansion jusqu'à 300 kilomètres (contre 1 millimètre aujourd'hui) le rendra incapable de pénétrer la galaxie qui, de son point de vue, constituera un « matériau » parfaitement opaque. Bref, non seulement il n'y aura plus rien à voir de l'Univers que nous connaissons, mais également plus rien à connaître. Il ne subsistera pour éclairer le ciel que la pâle lumière des étoiles de notre galaxie.

Et encore, cela n'aura qu'un temps. Au-delà de 10^{14} années, les toutes dernières étoiles actuelles s'éteindront. Et, à quelques rares exceptions, plus aucune étoile nouvelle ne se formera. Puis, vers 10^{22} années, on estime que la galaxie ne comptera plus que quelques centaines d'étoiles, astres dont

L'obscurité de l'Univers signifiera également la plongée dans une nuit plus opaque encore : celle de la connaissance

2,5 millions d'années-lumière, fusionne avec notre propre galaxie. De même, dans 100 milliards d'années, alors que l'Univers aura sept fois son âge actuel, tous les ensembles de galaxies proches formeront des uniques supergalaxies quasi sphériques. À l'œil nu, vu d'ici (pour peu que cette notion ait encore un sens !), cela ne changera pas grand-chose. Le ciel sera toujours constellé d'étoiles. Cependant, même avec les télescopes les plus puissants, il est alors certain que plus aucun objet extragalactique ne pourra être mis en évidence. Au-delà des frontières de notre supergalaxie, l'Univers apparaîtra comme désespérément vide, à nouveau totalement plongé dans la nuit.

Et cette obscurité sera en réalité bien peu de chose si l'on considère qu'elle signifiera également une angoissante plongée dans une nuit plus opaque

les derniers-nés proviendront de la fusion entre des naines brunes issues d'étoiles déjà mortes depuis longtemps.

Après quoi, entre 10^{25} et 10^{29} années, ce qu'il restera des galaxies fusionnera avec le trou noir central de chacune d'elles. La seule source de lumière sera alors la faible radiation dite Hawking émise par ces monstres insatiables du fait de leur caractère quantique. Radiation qui aura pour effet, après 10^{65} ans, de faire s'évaporer jusqu'au dernier trou noir issu d'une étoile, et après 10^{100} ans, ceux, plus massifs, issus des galaxies. Les quelques malheureux grains de lumière qui subsisteront encore finiront dilués à l'infini dans un Univers à l'expansion sans fin. L'Univers aura été définitivement rendu à la nuit. ●

(Merci à Françoise Combes, de l'Observatoire de Paris, et à Mathieu Langer, de l'Institut d'astrophysique spatiale.)

La qualité de la nuit disparaît...

Halos lumineux, équipements mal orientés ou trop puissants éblouissent, créent des lumières intrusives dans les habitations ou éclairent inutilement le ciel... Les nombreux effets des lumières artificielles obligent désormais à regarder nos lumières autrement.

De points en points lumineux supplémentaires dont la durée d'éclairement a quasiment doublé en quelques années, nous avons rompu l'alternance naturelle du jour et de la nuit, indispensable à nos vies biologiques. Notre éclairage nocturne doit désormais devenir celui du XXI^{ème} siècle et non celui du précédent.

L'ANPCEN a lancé l'alerte. Aujourd'hui, elle sensibilise, chaque jour sur le terrain, elle explique les enjeux, accompagne les choix, encourage les communes ou acteurs qui progressent en animant le concours Villes et Villages étoilés. Nationalement, elle s'efforce de faire bouger les lignes, elle a contribué à voir inscrites la « limitation, la prévention et la suppression » des nuisances lumineuses dans le Code de l'environnement et à une première mesure en 2013 d'extinction de lumières superflues en milieu de nuit. Ainsi, ce progrès n'est plus une option mais un objectif public.

Vous avez le souci de votre santé, de votre environnement et de nos relations avec lui, vous partagez le souhait que dépenses énergétiques et budgétaires inutiles doivent nous être évitées, vous avez envie de pouvoir contempler des cieux étoilés et pensez aux générations futures...

Apportez votre soutien à l'ANPCEN, seule association nationale, experte depuis 15 ans, agissant conjointement au niveau national et au niveau local et ce, de manière entièrement bénévole...

***La vie a besoin de la nuit !
la nuit a besoin de nous.***



**Association Nationale pour la Protection
du Ciel et de l'Environnement Nocturnes**

www.anpcen.fr

Reconnue d'intérêt général



So sexy...

So Swift



GAMME NOUVELLE SWIFT À PARTIR DE 9 990 €⁽¹⁾

«Je ne résiste jamais à un côté sexy. Ma nouvelle Swift, c'est comme ça qu'elle m'a séduite, son élégance et son design m'ont fait fondre. En 3 ou 5 portes, compacte, maniable et entièrement personnalisable, ma Swift et moi, on se ressemble et notre histoire n'est pas prête de s'arrêter. Et avec tous ces nouveaux équipements, il faut que je me méfie, elle aura bientôt plus de succès que moi.»

GARANTIE ASSISTANCE 3 ANS
ou 100 000 km au 1^{er} terme échu

www.suzuki.fr

