

8 minutes et 19 secondes

L'année s'est écoulée presque à la vitesse de la lumière, et voici déjà le nouveau millésime de *POST* ! Douze mois, un rythme de croisière désormais bien établi, le temps qui aura été nécessaire pour vous concocter ce cinquième opus qui, nous l'espérons, éclairera votre été 2026 et les mois suivants.

Après avoir parcouru la matière et le vivant lors des précédents numéros, nous explorions, l'an passé, les méandres du temps, celui qui dévore tout. Cette fois, nous avons choisi de braquer les projecteurs sur son inséparable compagne, sa complice éternelle, depuis environ 13,8 milliards d'années : la lumière.

8 minutes et 19 secondes : c'est le temps que mettent les photons pour parcourir les 149,6 millions de kilomètres qui séparent le Soleil de nos rétines, à la vitesse inconcevable de 299 792 458 mètres par seconde. Un délai dérisoire à l'échelle cosmique, mais qui suffit à nous rappeler une évidence : lorsque nous levons les yeux vers le ciel, nous regardons toujours en arrière – vers un passé tout proche, le jour, et bien plus profond, la nuit. Un message de temps révolu mais qui façonne notre présent. Une anachronie lumineuse qui nous lie à l'histoire de notre galaxie et de l'univers entier.

Naturelle ou artificielle, rasante ou zénithale, onde électromagnétique ou corpuscule de masse nulle, réconfortante ou dangereuse, richesse naturelle inépuisable (du moins à notre modeste échelle), philosophique ou quantique, la lumière est omniprésente, structurante, et pourtant si souvent invisible à force d'être évidente.

Dans l'aménagement des villes comme en architecture, la lumière est une matière du projet. La quête de la lumière a été rendue possible par la disponibilité d'une énergie abondante et peu coûteuse, capable de chauffer en hiver, de climatiser en été, d'éclairer sans compter. L'usage de la lumière repose aussi sur ce régime énergétique fossile. Le changement climatique et les aléas des marchés de l'énergie appellent de nouveaux arbitrages et l'invention de formes inédites à mesure que la lumière devient ressource productive. À l'échelle urbaine, l'ombre a quitté le centre des villes et des bourgs. La prise en compte des écosystèmes nocturnes invite aujourd'hui à modérer l'éclairage et à en repenser les temporalités. La question n'est donc plus seulement d'éclairer mieux, mais d'éclairer juste.

Ce sujet d'une richesse infinie nous a entraînés bien au-delà des préoccupations quotidiennes, celles de concepteurs et d'acteurs de projets : nous avons ainsi exploré la « géopolitique » de la lumière, avec la fabrication des semi-conducteurs et l'exploitation des panneaux photovoltaïques ; nous nous sommes émerveillés

**ILLUSTRATION
DE COUVERTURE**
Aquarelle d'Eduard
Pechuël-Loesche,
tirée de l'ouvrage
*Études sur les phénomènes
du crépuscule : explication
des perturbations optiques
atmosphériques observées
après l'éruption du Krakatoa*
de Johann Kiessling,
Leopold Voss, 1888

avec la bioluminescence des baudroies abyssales ou des lucioles estivales, penchés sur les mystères des premières années de l'univers, interrogés sur l'histoire des fenêtres à travers les âges et sur l'effet rebond des moyens d'éclairage, de la chandelle en suif aux diodes électroluminescentes (aka' LED) ; nous avons visité un phare...

Comme à son habitude, cette livraison maintient l'équilibre qui fait la singularité de POST : entre les contributions des membres des équipes d'AREP et les regards extérieurs, entre le sérieux des analyses et la curiosité des anecdotes, le mélange de rigueur et de fantaisie, d'analyse et de points de vue, la part belle faite aux arts, aux récits inattendus et aux facétieuses « Bandes détournées », sans oublier la rubrique « POST Junior » pour les petits et les grands.

Nous remercions chaleureusement toutes les contributrices et tous les contributeurs – internes et externes – pour leur disponibilité et leur créativité, ainsi que l'équipe de pilotage, qui a su, malgré les aléas chromatiques, garder le cap pour éclairer le chemin et livrer ce numéro.

Nous vous laissons maintenant vous immerger dans ces 148 pages, avec l'espoir qu'elles contribueront à vous faire passer une merveilleuse et radieuse période estivale. Et n'oubliez pas : la meilleure des lumières reste celle qui s'éteint pour laisser place aux étoiles.

Très bel été 2026, et bonne lecture !

1. Also known as

Raphaël Ménard
président du directoire d'AREP

Philippe Bihouix
directeur général d'AREP

Élise Dageons
directrice déléguée d'AREP

RÉDACTION DE POST, FIN AVRIL 2026, PARIS 13^e...

TU AVANCES SUR TON DOSSIER, ÉLISE ?
LE BOUCLAGE EST POUR DEMAIN....

TU NE CROIS PAS SI BIEN DIRE ! EN FAISANT DES RECHERCHES
POUR MON ARTICLE SUR LA LUMIÈRE, J'AI MIS À JOUR UN
COMLOT MONDIAL ! LA COULEUR VIOLETTE... N'EXISTE PAS !
C'EST UNE INVENTION MARKETING POUR NOUS VENDRE PLUS
DE VÊTEMENTS, DE JOUETS EN PLASTIQUE,
DE PEIGNOIRS EN SATIN, DE CHOCOLAT...

TU... TU ES SÛRE ? IL ME
SEMBLE POURTANT AVOIR DÉJÀ
VU CETTE COULEUR...

C'EST UNE ILLUSION
CRÉÉE PAR TON
CERVEAU !

REGARDE LE SPECTRE LUMINEUX
POUR T'EN CONVAINCRE !
LE VIOLET N'A PAS DE FRÉQUENCE !

ELLE A
COMPLÈTEMENT
VRILLÉ, LA PAUVRE...

23 H 15, LE SOIR MÊME.

ET VOILÀ, LE DOSSIER EST BOUCLÉ,
PLUS QU'À... TIENS !

UNE SONNERIE DE
TÉLÉPHONE SANS
VOYELLE... JE ME
DEMANDE QUI ÇA
PEUT BIEN ÊTRE...

ALLO ? RÉDACTION DE POST,
ÉLISE À L'APPAREIL.

TU NE PEUX RIEN CONTRE LA
PUISSANCE DU VIOLET. ABANDONNE
TA PUBLICATION, OU ON T'ENVOIE LES
ULTRAS... CECI EST NOTRE DERNIER
AVERTISSEMENT... CLIC.

ET MAINTENANT, LECTEUR, RÉVEILLE TOI... ET REGARDE ! PLUS PRÈS... COLLE TES YEUX À CES PAGES, CONTEMPL
LA VÉRITÉ ! TOUT CE QUE TU PENSAS ÊTRE DE VRAIES COULEURS N'EST EN RÉALITÉ QU'UNE JUXTAPOSITION
DE MINUSCULES PETITS POINTS... QUATRE POINTS QUI TIRENT LES FICELLES DANS L'OMBRE...
LE COMLOT VA LOIN, BIEN PLUS LOIN QUE CE QUE L'ON POURRAIT IMAGINER !

9	Timbre-POST Symptômes et possibles d'un monde (post-)carbone
12	Coup d'œil Géopolitique de l'énergie solaire
16	Grand entretien Léa Mariton et Isabelle Vauglin « <i>La meilleure lumière, c'est souvent celle qu'on n'allume pas</i> »
22	Glossaire
	DOSSIER Lumière(s)
28	Cadrage Les coûts cachés de la transparence
34	Trois questions à... Fabienne Maman, directrice artistique du studio BOA Light <i>La conception lumière</i>
36	Architecture Des fenêtres qui nous regardent
42	Cabinet de curiosités Moi ce que j'aime, c'est les fenêtres
44	Cabinet de curiosités De ciel et de lumière : géographie des nuages et de l'ensoleillement

46	Techniques Philippe Bompas et Olivier Campagne <i>La lumière naturelle, élément de perception architecturale et visuelle</i>
52	Décryptage L'éclairage, une histoire humaine
56	Grand angle Fiat lux : les premières lumières de l'univers
60	Économie Un monde 100 % solaire est-il possible ?
64	Analyse La juste clarté
68	Étude de cas Youssef Diab « <i>La lumière est un élément architectural très important de la décision publique</i> »
70	Recherche Toutes les ombres ne se valent pas
74	Reportage Cordouan, roi des phares, reine des lentilles

80	Entretien Hippolyte Dourdent « <i>L'étude de la lumière est à l'origine de la première grande période de la physique quantique</i> »
84	Chronobiologie Reconquérir la lumière, métronome de notre rythme circadien
	IMAGINAIRES
88	Portfolio Lumières en gares
92	Panorama De la couleur
98	La petite histoire de... La maîtrise de la lumière
100	Découverte Lumière et architecture sacrée
104	Art Peindre la lumière
108	Science-fiction Roland Lehoucq « <i>L'imaginaire est encore, et probablement pour très longtemps, notre seul moyen d'atteindre les étoiles</i> »

112	Portfolio La lumière, personnage principal
	POST JUNIOR
120	Comment les animaux perçoivent-ils le monde ?
122	La bioluminescence
124	Lumière et jeux vidéo
126	Les mémoires de la lumière
	POINTS DE VUE
132	Rétrospective L'affaire du siècle (des Lumières)
136	Regards croisés Comment la lampe des nouveaux TGV a-t-elle été imaginée ?
138	Regards croisés Comment la lumière peut-elle guider l'aménagement écologique d'un espace urbain ?
143	Pour aller plus loin
144	POST à la loupe

INSPIRATION : LES LECTEURS DE POST NOUS APPELLENT POUR PARTAGER LEURS PETITS GESTES ÉCOLOGIQUES !



Comics détournés : divers comics libres de droits

Timbre-POST

Symptômes et possibles d'un monde (post-)carbone

textes Gaëlle Simonetti

Naturelle ou artificielle, visible ou invisible, la lumière est aujourd'hui au cœur de nombreux enjeux scientifiques, environnementaux et urbains. De l'augmentation de la luminosité nocturne à l'échelle planétaire aux effets de la pollution lumineuse sur les écosystèmes, en passant par les nouvelles manières d'aménager la ville, les découvertes récentes révèlent combien la lumière façonne nos milieux de vie. Entre source de connaissance, outil de conception et facteur de transformation écologique, elle constitue un prisme pour comprendre les mutations contemporaines. Extraits d'actu.

La Terre n'a jamais été aussi lumineuse la nuit

Une étude internationale¹ fondée sur des observations satellites révèle qu'à l'échelle mondiale, l'éclairage

artificiel nocturne a augmenté d'environ 16 % entre 2014 et 2022. L'évolution reste toutefois très contrastée : certaines régions s'assombrissent tandis que d'autres s'illuminent fortement, dessinant une dynamique en « patchwork ». L'Asie est le principal moteur de l'augmentation de cette luminosité nocturne mondiale, portée par une urbanisation rapide, notamment en Chine et en Inde. En Europe, la tendance est inverse avec un recul moyen de la luminosité lié aux politiques d'économie

d'énergie et au remplacement des anciens éclairages par des LED moins diffusantes. La France se distingue particulièrement avec une diminution d'environ 33 % de sa luminosité nocturne, l'une des plus fortes baisses au monde. Les chercheurs expliquent aussi que ces évolutions reflètent l'impact des crises énergétiques, des conflits et des transformations économiques en cours, et ils alertent sur les impacts écologiques de la pollution lumineuse ([lire page 16](#)).

Une trame sombre pour protéger la nuit

Pour la première fois en France, une trame sombre a été déployée à l’échelle départementale, en Maine-et-Loire, en partenariat avec la Ligue pour la protection des oiseaux (LPO). Ce dispositif innovant permet de cartographier les corridors écologiques nocturnes et de les croiser avec les zones d’éclairage public afin d’identifier les conflits locaux entre lumière artificielle et biodiversité. Près de 1 500 zones sensibles ont été identifiées, impliquant environ 12 000 points lumineux. L’objectif de ce plan d’action prévu sur six ans : concilier sécurité, économies d’énergie et préservation des espèces nocturnes tout en offrant aux collectivités un outil concret pour repenser leur éclairage, sans nécessairement remplacer tout leur parc. Adaptation des horaires et de l’intensité d’éclairage, ajustement de l’orientation des lampes ou encore suppression de certains points lumineux font partie des solutions proposées.

Et si la lumière pouvait naître... du vide ?

A l’aide de supercalculateurs et d’un logiciel de simulation nommé Osiris, des chercheurs

de l’université d’Oxford² ont simulé pour la première fois la production de photons à partir d’un espace vide. En mécanique quantique, le vide n’est pas un « néant » absolu : les champs quantiques qui le remplissent subissent en permanence des fluctuations, parfois décrites comme des apparitions fugitives de particules virtuelles³. En croisant trois lasers puissants dans une zone vide, les scientifiques ont montré que ces fluctuations peuvent interagir avec la lumière pour générer de nouveaux photons. Le vide se comporte alors comme un matériau optique capable de dévier, transformer et produire de la lumière, un phénomène analogue à la biréfringence⁴, consistant en la séparation par un matériau de la lumière en deux faisceaux selon sa polarisation. Si ces simulations se confirment en laboratoire, ce serait une percée majeure pour mieux comprendre l’espace-temps et les limites de la physique quantique.

Les écosystèmes côtiers à l’épreuve de l’ombre

Une équipe internationale de chercheurs alerte sur le phénomène des « vagues sombres », des épisodes où la lumière disparaît presque totalement sous les eaux côtières, parfois durant plusieurs semaines. Provoquées par des mouvements de sédiments, la prolifération d’algues ou encore des débris organiques, elles perturbent

la photosynthèse des herbiers marins, du varech et des coraux, modifient le comportement des poissons, des requins et des mammifères marins, et, lorsqu’elles persistent, peuvent entraîner des déséquilibres écologiques importants. L’équipe propose un cadre commun pour mesurer leur intensité, leur fréquence et leur durée, en s’inspirant des méthodes utilisées pour les canicules marines⁵ mais avec des seuils adaptés aux variations naturelles de luminosité. Testée sur des données couvrant jusqu’à 21 ans, cette approche met en évidence des épisodes d’obscurité quasi totale dans certaines zones côtières, pouvant durer jusqu’à 64 jours. Des événements qui ne sont pas isolés : entre 2002 et 2023, plusieurs dizaines de « vagues sombres » ont été recensées dans les zones étudiées, avec des variations importantes selon les régions et les conditions météorologiques. Les scientifiques estiment encore mal les impacts de ces vagues et appellent à approfondir les recherches face aux menaces qu’elles représentent pour les écosystèmes.

Un parking souterrain converti en refuge climatique

Un projet étudiant, primé dans le cadre de la troisième édition du concours [Ré]inventer l’existant (2025), a imaginé la transformation d’un parking souterrain en refuge climatique. Porté par Adrien Gaillard, étudiant à l’ENSA Paris-Est,

et nommé « Oasis dans la fournaise : vers la mutation d’un îlot de chaleur en un refuge climatique », le projet cible le secteur de la porte de Clignancourt à Paris (18^e arrondissement). Il propose de requalifier trois sites délaissés à l’horizon 2050 : une barre de logements, une friche accueillant un bâtiment résilient et un parking transformé en espace de vie tempéré. Ce dernier mise sur un apport de lumière naturelle zénithale pour devenir un lieu habitable malgré son caractère souterrain. Inspiré des habitats troglodytiques, l’ensemble vise à créer un microclimat urbain capable de réduire les îlots de chaleur et d’offrir des refuges en cas d’épisodes caniculaires.

Percer le mystère des feux follets

Longtemps considérés comme des phénomènes mystérieux nourrissant mythes et récits populaires, les feux follets font aujourd’hui l’objet d’explications scientifiques approfondies. Ces lueurs bleutées, autrefois observées dans les zones humides ou près des cimetières et désormais devenues rares, pourraient être reproduites en laboratoire sous forme de micro-éclairs lumineux. Des chercheurs⁶ ont mis en évidence, à partir de microbulles d’air et de méthane, des émissions de lumière apparaissant lorsque certaines conditions de concentration sont réunies. Ce phénomène serait lié à des réactions d’oxydation du méthane associées à de faibles décharges électriques entre particules

chargées, dans un environnement humide. Cette hypothèse permettrait d’expliquer la formation de ces flammes éphémères, historiquement associées à la décomposition de matière organique dans les marais. Leur raréfaction serait liée à la disparition des zones humides, à l’évolution des pratiques d’inhumation⁷ et à l’éclairage artificiel qui empêche leur observation. Ces travaux ouvrent aussi des pistes sur des réactions chimiques primitives susceptibles d’avoir joué un rôle dans l’apparition de la vie sur Terre.

Pollution lumineuse : impact en cascade sur les écosystèmes nocturnes

Une étude allemande⁸ a montré que l’éclairage artificiel des berges modifie les chaînes alimentaires des cours d’eau, jusque dans les habitudes de chasse des araignées vivant au bord des rivières. Grâce à des canaux artificiels reproduisant des milieux naturels, les chercheurs ont observé que la lumière nocturne perturbe les échanges entre espèces aquatiques et terrestres. Certaines écrevisses invasives, par exemple, changent de régime alimentaire sous l’effet de l’éclairage, entraînant à leur tour une modification des proies consommées par les araignées... Ces dérèglements s’ajoutent à d’autres effets déjà documentés de la pollution

lumineuse : désorientation des oiseaux migrateurs, attraction mortelle des insectes autour des lampadaires ou encore perturbation des tortues marines dont les nouveau-nés confondent les lumières urbaines avec le reflet de la lune sur l’océan. Les scientifiques estiment que ces impacts restent largement sous-évalués, notamment dans les zones urbaines traversées par des fleuves et rivières.

- Li, T., Wang, Z., Kyba, C.C.M. *et al.*, “Satellite imagery reveals increasing volatility in human night-time activity”, *Nature*, n° 652, p379-386, 2026.
- Zhang *et al.*, “Computational modelling of the semi-classical quantum vacuum in 3D”, *Communications Physics*, 5 juillet 2025.
- « Comptes rendus de l’Académie des Sciences, Series IV, Physics-Astrophysics », volume 2, n° 9, novembre 2001, p. 1287-1298.
- Propriété de certains matériaux (comme certains cristaux) de dédoubler la lumière en fonction de la direction de ses vibrations. Ici, le vide soumis à des champs laser extrêmes se comporte de cette façon.
- Périodes durant lesquelles la température de l’eau de mer reste anormalement élevée pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines, pouvant fortement perturber les écosystèmes (blanchissement des coraux, déplacement ou mortalité d’espèces, prolifération d’algues, etc.).
- Y. Xia, Y. Meng, J. Shi, R.N. Zare, “Unveiling ignis fatuus: Microlightning between microbubbles”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 122 (41), September 29, 2025.
- Notamment l’abandon des enterrements en pleine terre au profit de cercueils hermétiques ou de structures limitant la décomposition et l’échappement des gaz organiques.
- Ogbeide, C. *et al.*, “Artificial light at night and invasive signal crayfish alter aquatic-terrestrial food webs”, *Functional Ecology*, 00, 1-15, 2026.

Coup d'œil

données Philippe Bihoux et Morgane Delarc, AREP
design Julien Peltier

Géopolitique de l'énergie solaire

Une fabrication sous tension ?

Aujourd'hui, l'immense majorité des panneaux photovoltaïques sont composés de silicium, un élément chimique très abondant (27 % en poids) dans la croûte terrestre. Mais même dans les panneaux dits « au silicium » se glissent d'autres ressources, comme l'argent, déposé sous forme de pâte pour assurer les contacts électriques, ou l'antimoine, qui améliore les qualités optiques du verre de protection...

Verre trempé 68 à 72 % Protection des modules

Aluminium 12 à 14 % Cadre, structure de montage, connecteurs

Polymères (EVA, PVF, PET) 8 à 10 % Encapsulant, support arrière

Silicium 3 % Cellules

Cuivre 1 à 4 % Câbles, rubans de connexion

Antimoine 0,1 à 0,3 % Propriétés optiques du verre

Zinc 0,03 à 0,1 % Acier galvanisé de la structure de montage

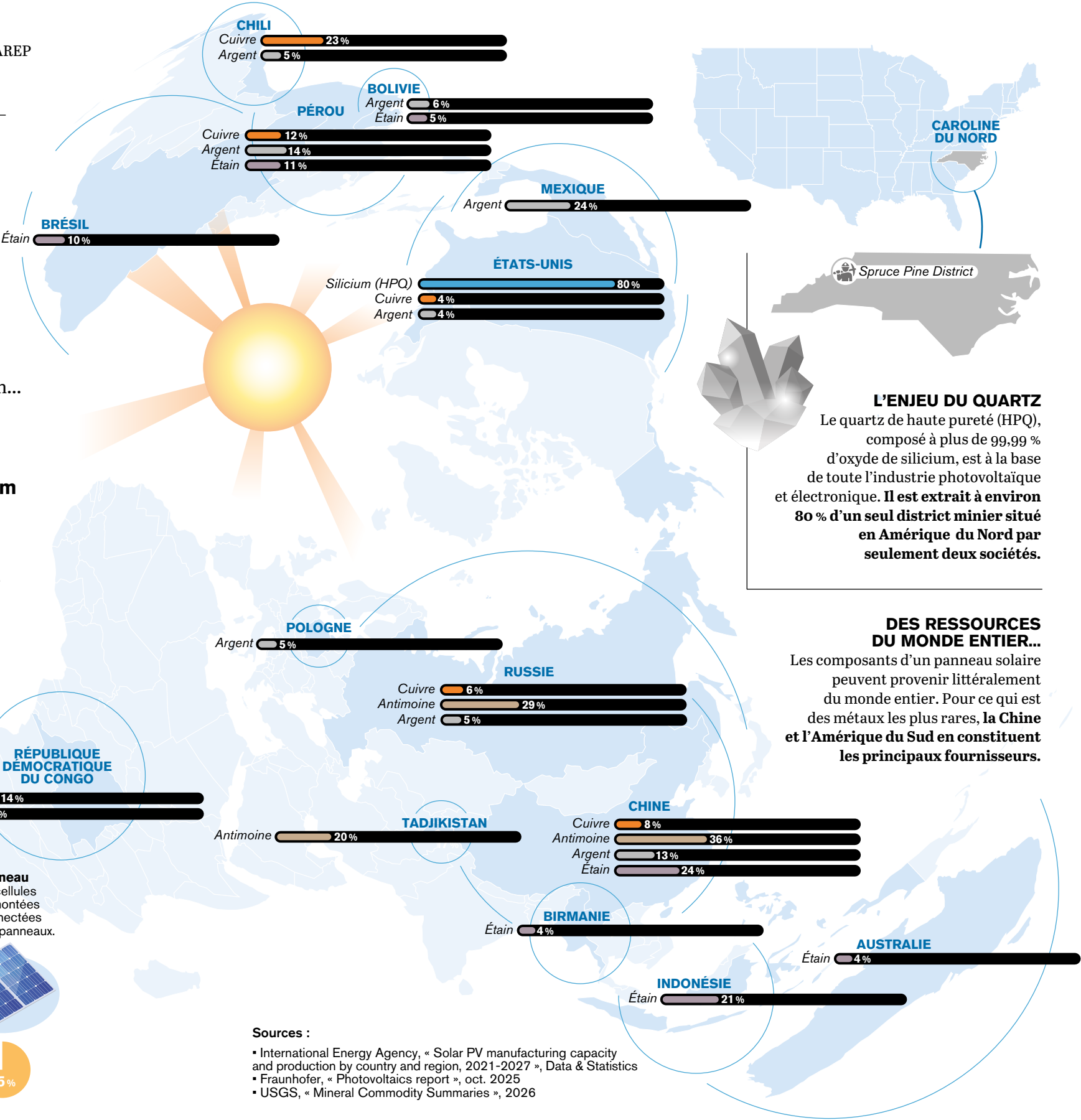
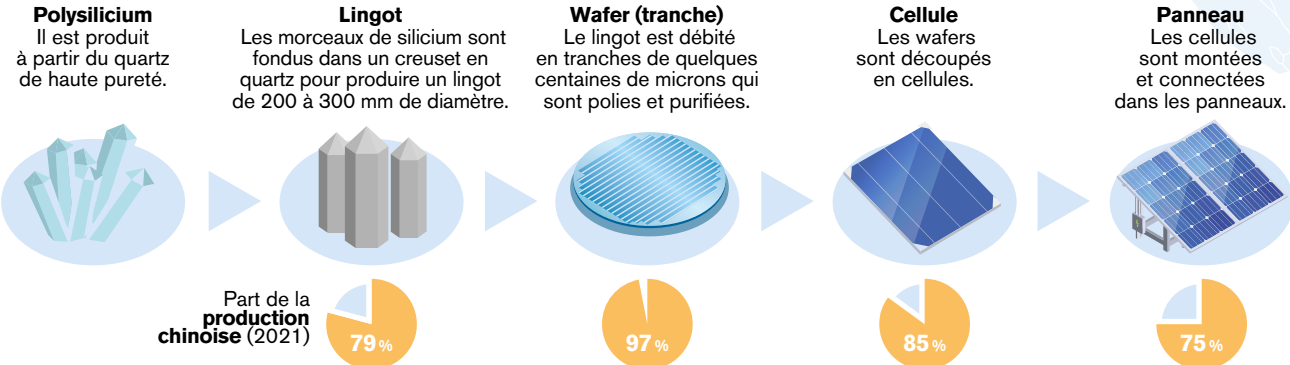
Argent 0,03 à 0,08 % Contacts électroniques, soudures

Étain 0,01 à 0,05 % Soudures

Plomb 0,01 à 0,05 % Soudures

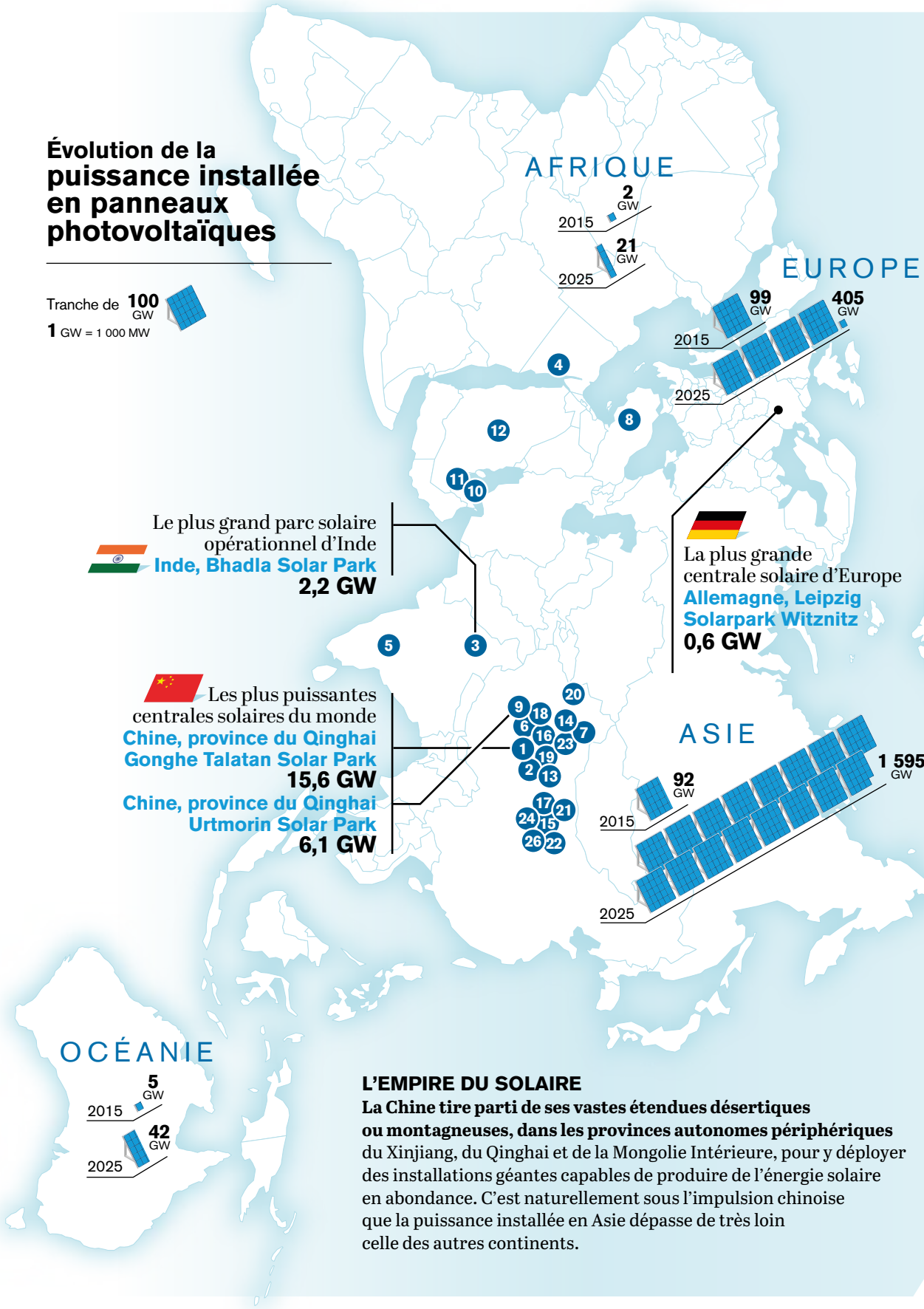
Composition d'un panneau de silicium cristallin par matière

Les étapes clés de la production d'un panneau



Évolution de la puissance installée en panneaux photovoltaïques

Tranche de 100 GW
1 GW = 1 000 MW

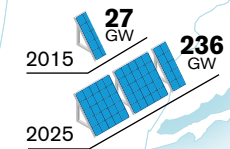


La course aux gigaprojets

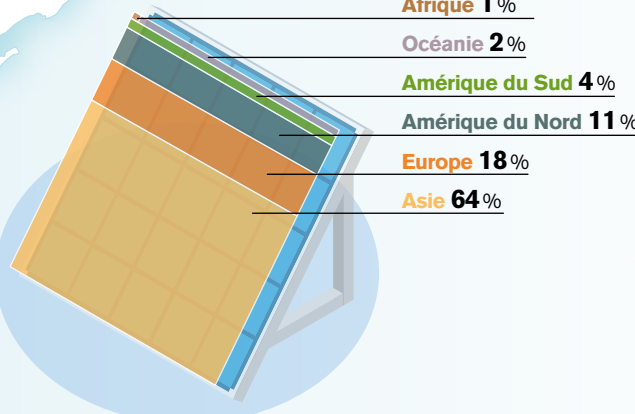
Avec plus de 500 GWc (gigawatts-crête*) déployés en 2025, la capacité mondiale photovoltaïque installée atteint désormais 2 383 GWc, soit 290 Wc par Terrien, l'équivalent d'un peu plus d'un mètre carré de panneau chacun. La Chine se taille la part du lion avec 50 % de la capacité cumulée (et 61 % des installations en 2025).

données Philippe Bihouix et Morgane Delarc, AREP
design Julien Peltier

AMÉRIQUE DU NORD



Puissance installée par continent en 2024



Sources :
International Renewable Energy Agency (www.irena.org)
ourworldindata.org
interestingengineering.com
solartechonline.com
ornatesolar.com
wikipedia.org
pv-magazine.com

*La puissance crête désigne la puissance maximale.

Chine Gonghe Talatan Solar Park	2011	1
Chine Tengger Desert Solar Park	2016	2
Inde Bhadla Solar Park	2018	3
Égypte Benban Solar Park	2019	4
Inde Pavagada Solar Park	2019	5
Chine Huanghe Hainan Solar Park	2020	6
Chine Mori Solar Park	2021	7
Turquie Kalyon Karapinar Solar Power Plant	2021	8
Chine Urtmorin Solar Park	2021	9
Émirats arabes unis Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park	2022	10
Émirats arabes unis Al Dhafra Solar Project	2023	11
Arabie saoudite Sudair Solar PV Project	2023	12
Chine Ningdong Solar Park	2023	13
Chine Midong Solar Park	2024	14
Chine Hobq Solar Park	2024	15
Chine Ruoqiang Solar Park	2024	16
Chine Otog Front Banner Solar Park	2024	17
Chine Gelmu East Solar Park	2024	18
Chine Delingha Solar Park	2024	19
Chine Nilka County PV Park	2024	20
Chine Mengxi Lanhai Solar Plant	2024	21
Chine Wulanbuhe Desert Solar Plant	2024	22
Chine Alax Tengger Desert Solar Park	2024	23
Chine Energy Lingshao Solar Park	2024	24
Brésil Complexo Solar Janaúba	2024	25
Chine Lingwu Solar Project	2026	26



GRAND ENTRETIEN

Léa Mariton et Isabelle Vauglin

« *La meilleure lumière, c'est souvent celle qu'on n'allume pas* »

propos recueillis par Simon Devos photographie Ludo Charles

Voilà des décennies que la pollution lumineuse progresse inexorablement en France et dans le monde. Attirés par la lumière comme par une douce promesse de confort, de maîtrise de notre environnement et de sécurité, nous avons peu à peu effacé la nuit – en ville comme dans la plupart des campagnes. Mais cette aspiration à la lumière, très humaine, n'est pas sans conséquence : en rompant l'harmonie entre lumière et obscurité, elle redessine nos nuits et bouleverse des équilibres construits sur des millénaires. Isabelle Vauglin, astrophysicienne au Centre de recherche astrophysique de Lyon (Cral), et Léa Mariton, écologue et l'environnement (Inrae), dressent un constat inquiétant : disparition du ciel étoilé, déclin des insectes, perturbation du sommeil... Les dégâts sont nombreux et documentés. Comment concilier notre envie de prolonger les activités du jour et les enjeux fondamentaux autour de la préservation de l'obscurité ?

Quel est votre rapport personnel à la nuit ?

Isabelle Vauglin : Aussi loin que remonte ma mémoire, j’ai regardé le ciel étoilé. J’ai été profondément marquée par les nuits d’observation, très tôt dans ma jeunesse, des étoiles, des constellations, puis des autres astres fascinants qui peuplent le ciel. À tel point que cela m’a poussée à devenir astronome. Plus tard, et notamment du fait de mon travail, j’ai eu la chance de me rendre sur des sites d’observation incroyables, dotés d’un ciel extraordinaire. À Hawaï, par exemple, où j’ai pu admirer l’un des ciels les plus purs de l’hémisphère Nord, ou bien au Chili dans le désert d’Atacama – l’un des endroits les plus arides au monde, où le ciel est très souvent dégagé et aucune lumière artificielle ne nous parvient. On peut alors découvrir à l’œil nu un ciel scintillant de plusieurs milliers d’étoiles, une Voie lactée spectaculaire, ainsi que quelques objets iconiques visibles uniquement depuis l’hémisphère sud terrestre, comme la célèbre constellation de la Croix du Sud, jamais visible en France métropolitaine, ou les Nuages de Magellan, deux galaxies naines satellites de notre Voie lactée. Lorsque l’on comprend que la lumière qui vient de ces objets grisâtres a été émise il y a des centaines de milliers d’années et a voyagé tout ce temps avant de parvenir à nos yeux, cela confère au ciel une profondeur supplémentaire et un aspect véritablement magique. Je pense que chaque humain sur Terre devrait avoir la possibilité de ressentir cette profonde émotion. Seulement, aujourd’hui, à l’échelle mondiale, 80 % de la population vit sous un ciel fortement altéré par les lumières nocturnes, et la plupart des enfants n’ont jamais pu observer la Voie lactée.

Léa Mariton : Pour une écologue, la nuit est surtout l’occasion de prêter attention à tout un monde avec lequel nous cohabitons. Un écosystème invisible dans notre quotidien d’êtres diurnes. Beaucoup d’espèces animales, qui partagent nos espaces de vie, nichent en journée et ne sortent qu’au crépuscule. Certaines restent actives une bonne partie de la nuit. Même au cœur de grandes villes comme Paris, on peut trouver des endroits où vivent et évoluent des renards roux, certains rapaces nocturnes, ou encore de nombreuses espèces de chauves-souris, notamment des pipistrelles. Ces animaux souffrent d’un capital sympathie moins élevé que celui des espèces diurnes. Et pourtant, ils forment de véritables trésors de biodiversité, qu’il faut absolument préserver. Les observer la nuit, c’est aussi nous souvenir de nos origines et de nos liens les plus profonds avec la nature, de plus en plus absente de nos environnements citadins.

À notre échelle, l’éclairage nocturne semble ancien, parce qu’il est ancré dans nos pratiques depuis plusieurs générations. Pourtant, rapporté à l’histoire de l’humanité, c’est un phénomène relativement récent...

I.V. : Exactement. Notre espèce a passé une très grande partie de son existence sur Terre presque sans aucune lumière la nuit, à l’exception de celle du feu. C’est surtout la compréhension et le développement massif de l’électricité, à partir du milieu du XIX^e siècle, qui a permis de nous éclairer la nuit (*l’utilisation du gaz a précédé celle de l’électricité pour des applications massives comme l’éclairage urbain, ndlr*). Petit à petit, ces lumières ont recouvert la majorité des villes, de leurs environs, puis même les villages reculés. Et en se diffusant dans l’atmosphère, elles ont fait disparaître du ciel de nombreuses étoiles. Or, il semble que l’humain a toujours tenté de mettre du sens derrière ses observations du ciel. Dès l’apparition de l’écriture, il y a 7 000 à 8 000 ans, on retrouve notamment en Mésopotamie des traces d’une description poussée de la voûte céleste – et de nombreux mythes et légendes associés. La pollution lumineuse nous a fait perdre cette connexion ancestrale que nous avions avec le ciel. Et avec elle, cette notion de notre vaisseau Terre (*cette idée résulte surtout des recherches de l’astronomie moderne, et les civilisations du passé n’en avaient pas véritablement la même compréhension, ndlr*). Nous ne vivons plus aujourd’hui avec le rappel constant, chaque nuit, de l’endroit où nous nous trouvons, c’est-à-dire un tout petit point dans un immense univers.

L.M. : Pas de doute, le jour est l’environnement de vie privilégié des humains, puisque notre vision a plutôt évolué pour être efficace en pleine lumière. Ce n’est donc pas étonnant que nous voulions prolonger artificiellement la durée du jour. Mais comme toute créature vivant à la surface de notre planète, nos vies sont surtout rythmées par un cycle jour/nuit, avec des journées de 24 heures, comprenant des changements lumineux très marqués. Ce cycle, ainsi que celui de la durée plus ou moins longue de la nuit en fonction des saisons, est resté invarié pendant des millénaires. Pour nous comme pour les espèces qui nous entourent, c’est tout cela qui vole en éclats avec l’avènement de l’éclairage artificiel, qui a engendré ce phénomène de pollution lumineuse. Nous avons perdu deux de nos repères les plus fondamentaux : la séparation nette jour/nuit, et le cycle saisonnier de cette alternance.

« À l’échelle mondiale, 80 % de la population vit sous un ciel fortement altéré par les lumières nocturnes, et la plupart des enfants n’ont jamais pu observer la Voie lactée »

Léa Mariton

La lumière est souvent associée au « bien » et, par opposition, l’obscurité nocturne au « mal ». Est-ce aussi en partie pour cela que les humains ont souhaité repousser la nuit par le biais de leurs lumières artificielles ?

I.V. : On l’oublie souvent, mais cette association n’a rien de véritablement inné chez les humains. Elle est avant tout culturelle. Chez les peuples autochtones d’Australie, ou pour les populations autochtones d’Amérique, la nuit et l’obscurité revêtent une importance toute particulière : pour se repérer, communiquer avec les morts... Plus largement, l’observation du ciel a, par le passé, permis aux humains des quatre coins du globe de bâtir des calendriers, fondés notamment sur les cycles astronomiques comme celui de la Lune. C’est seulement la culture occidentale moderne, depuis moins de deux siècles, qui souhaite éclairer à tout-va et repousser la nuit.

L.M. : Aujourd’hui, l’apport de la lumière est multiple. Elle nous procure un confort certain, nous permettant de poursuivre de nombreuses activités plutôt diurnes une fois la nuit tombée. Pour l’architecture et la mise en valeur du patrimoine urbain la nuit, les lumières peuvent revêtir un aspect esthétique certain. Mais les arguments majeurs en faveur de l’éclairage nocturne concernent plus souvent des enjeux de sécurité et de sûreté des biens et des personnes. La lumière apporte indéniablement un sentiment de tranquillité. On se sent forcément plus en sécurité quand on y voit clair, face à l’angoisse de l’obscurité. Et pourtant, les études conduites sur le sujet ne nous permettent pas de conclure à une augmentation générale des actes de délinquance en cas d’extinction des éclairages. Par exemple, environ 80 % des cambriolages ont lieu en plein jour en France et les agressions de rue ne semblent pas augmenter particulièrement la nuit.

en l'absence d'éclairage. De même, lorsque l'on conduit, spontanément, la lumière nous rassure et nous fait nous sentir plus en sécurité. Mais des études et retours de terrain suggèrent que l'extinction ou la réduction des éclairages publics ne provoquent pas plus d'accidents, voire en diminuent la fréquence. Une explication possible serait que nous sommes plus vigilants en l'absence de lumière. Quand on fait le compte, du point de vue d'un écologue, il reste finalement assez peu d'arguments valides en faveur de l'éclairage nocturne... Si ce n'est ce sentiment de sécurité.

D'autant que des effets négatifs ont bel et bien été démontrés...

L.M. : Oui, et nous sommes encore bien loin de saisir la totalité des dommages que cause la pollution lumineuse. En particulier parce qu'ils sont difficiles à mesurer et à isoler d'autres bouleversements issus de nos modes de vie actuels, comme le changement climatique ou d'autres types de pollution. Des travaux commencent toutefois à aller dans ce sens. Plusieurs études s'accordent sur un impact majeur sur la répartition spatiale de la biodiversité. La lumière peut agir comme un attracteur pour de nombreuses espèces. Notamment des insectes volants qui s'épuisent jusqu'à la mort autour de nos lampadaires, ou deviennent fatalement plus visibles et vulnérables auprès de leurs prédateurs. Les lumières nocturnes sont aujourd'hui considérées comme étant l'un des facteurs aggravants majeurs du déclin catastrophique des populations d'insectes (*une baisse de 70 à 80 % dans les paysages*

*européens mixtes agro-industriels au cours des trente dernières années, ndlr*¹). Étant souvent à la base de la chaîne alimentaire, leur disparition a forcément une influence sur les populations d'autres espèces animales. La lumière joue aussi le rôle de répulsif pour de nombreux mammifères. Comme les chauves-souris, qui voient leurs habitats naturels de plus en plus réduits, et même souvent coupés en deux par des barrières lumineuses infranchissables. Une forêt traversée par une route éclairée toute la nuit est équivalente à un espace morcelé pour ces animaux. Fuyant la lumière, ils ne traversent plus au-dessus de la route et voient leurs habitats réduits considérablement. Même les populations de certaines espèces plus tolérantes à la lumière, qui profitent des lampadaires pour chasser, semblent affectées négativement par la pollution lumineuse. Cela pourrait s'expliquer par des perturbations de leur rythme d'activité². Plus largement, la pollution lumineuse désoriente complètement des espèces d'oiseaux migrateurs, des tortues terrestres qui se retrouvent parfois attirées par les villes, et périssent loin de leur habitat. Même la faune marine, notamment celle qui se cale sur les variations naturelles de lumière dues au cycle lunaire, est perturbée. Les écosystèmes se trouvent sur des équilibres fragiles, mis en place depuis des millénaires. Et nous venons de les bouleverser durablement en quelques années d'éclairage intensif.

I.V. : Sans parler des effets sur notre santé ! Notre production de mélatonine, souvent surnommée « hormone du sommeil », se déclenche lorsque la

luminosité baisse. Fatalement, la lumière, omniprésente en ville mais aujourd'hui aussi dans des endroits plus reculés, a un impact négatif sur notre sommeil. Ce dérèglement de production d'hormones liées au cycle circadien (*lire page 84*) a également un lien avec l'occurrence des cancers, qui se retrouvent plus importants avec la perturbation du cycle jour/nuit. L'hypothèse privilégiée par la recherche est que les erreurs de reproduction cellulaire³ et l'élimination de cellules défectueuses se font plutôt la nuit, avec un bon sommeil.

Et quels sont les impacts sur la recherche en astronomie ?

I.V. : Les observatoires, autrefois construits au cœur des villes, sont allés se réfugier de plus en plus loin et ne sont aujourd'hui plus visibles par la population. Même dans des régions isolées, il y a des astres que l'on ne voit plus à l'œil nu et qui deviennent difficiles à observer au télescope du fait de la pollution lumineuse. On perd en sensibilité et cela impacte forcément la recherche scientifique. D'autant que plus récemment, le lancement de convois de satellites par des compagnies privées a ajouté une pollution supplémentaire directement depuis l'espace. Pour le puissant télescope de l'observatoire Vera Rubin, récemment installé au Chili et pour lequel chaque minute d'observation est précieuse, environ 30 % des données sont jugées inutilisables parce qu'elles sont traversées par un satellite occultant la région du ciel observée. Cela dit, nous ne sommes peut-être que 15 000 astronomes dans le monde, nos moyens de pression sont donc relativement limités. Le plus dommageable est avant tout le fait que quasiment tous les humains ont aujourd'hui perdu l'accès au ciel étoilé. Pour renouer avec ce ciel, il faudrait une mobilisation massive de la population, qui dépasserait la seule science astronomique. Je considère qu'il s'agit d'un bien commun, qui devrait être inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco.

Comment faire pour concilier notre envie d'éclairer et les enjeux importants que vous venez d'énumérer ?

L.M. : Pour moi, la meilleure lumière, c'est souvent celle qu'on n'allume pas. Il faut commencer par beaucoup plus de sobriété, qui consiste simplement à réduire le nombre d'installations lumineuses et leur intensité. L'avantage, c'est que nos intérêts scientifiques vont dans le sens de l'économie, car une bonne partie de cet éclairage nocturne peut être considérée comme de l'énergie gaspillée. À l'échelle mondiale, l'éclairage artificiel représente 16,5 % de la produc-

tion électrique et 5 % des émissions de gaz à effet de serre. Beaucoup de communes en France ont fait le choix de couper leur éclairage une partie de la nuit après le début de la guerre en Ukraine ou de la pandémie de Covid-19, avant tout pour des raisons économiques – liées au prix de l'énergie. Et on commence à voir des effets positifs de cette politique sur la biodiversité à l'échelle locale. On peut aussi imaginer d'autres types d'éclairages moins impactants, munis de détecteurs de présence par exemple, qui ne s'allument que lorsque c'est nécessaire. Je pense que le plus important est de construire un projet mêlant des scientifiques de tous horizons – astronomes, anthropologues, biologistes – mais aussi des citoyens, qui ont leur mot à dire concernant ce service d'ordre public. L'information la plus précise concernant tous ces enjeux est primordiale pour prendre les bonnes décisions.

I.V. : Plusieurs réserves de ciel étoilé ont été créées ces dernières décennies en France, comme celle du pic du Midi de Bigorre dans les Pyrénées, ou du parc national des Cévennes. Ce sont aujourd'hui des lieux cruciaux à la fois pour l'astronomie et la préservation de la biodiversité nocturne, et je pense que l'on peut militer pour qu'il y en ait plus. De même que les trames noires, ces corridors écologiques sans lumière artificielle permettant aux espèces de circuler. Nous organisons aussi des campagnes de sensibilisation comme l'événement La nuit est belle, dans le Grand Genève et le territoire lyonnais. En éteignant quasiment la totalité des lumières en ville, le temps d'une nuit, notre but est de faire prendre conscience de la beauté que représente le spectacle visuel et sonore – même lors d'une nuit noire. Le retour d'expérience des participants est à chaque fois extrêmement positif. Ils décrivent un sentiment de calme, de sérénité particulière. La lumière artificielle exerce assurément une forme de violence pour les humains et les animaux qui nous entourent. Je pense que, comme moi, une partie de la population est convaincue qu'il est temps de réduire fortement cet impact. •

« Je considère le ciel étoilé
comme un bien commun,
qui devrait être inscrit
au patrimoine mondial
de l’Unesco »

Isabelle Vauglin

1. Source : Muséum national d'Histoire naturelle de Paris.
2. Léa Mariton *et al.*, “Even low light pollution levels affect the spatial distribution and timing of activity of a ‘light tolerant’ bat species”, *Environmental Pollution*, vol. 305, 15 juillet 2022.
3. Anomalies survenant lors de la division des cellules, quand l'ADN est copié de manière imparfaite. Ces mutations sont généralement corrigées par des mécanismes de réparation ou conduisent à l'élimination des cellules défectueuses.

textes Elsa Souchay

Glossaire

C'est elle qui nous permet de voir et pourtant, nous ne savons pas toujours précisément ce qu'est exactement ce phénomène. Car la lumière est à la fois une onde et un flux de particules, les photons, qui se propagent dans l'espace à la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde. À chacune des oscillations complètes du champ électromagnétique, cette onde parcourt une distance donnée : une longueur d'onde. La rétine de l'œil humain a la capacité de percevoir toutes les longueurs d'onde s'étendant de 380 nanomètres (couleurs violettes) à 780 nanomètres (couleurs rouges). En intégrant cette partie du spectre électromagnétique, nous sommes en mesure de discerner des formes, des couleurs et des contrastes. La lumière émise par une source peut bien sûr varier en intensité, mais sa mesure dépend de ce que l'on cherche à quantifier. Le lumen (lm) mesure le flux lumineux, c'est-à-dire la quantité totale de lumière émise par une source dans toutes les directions. Le lux (lx) mesure l'éclairement, soit la quantité de lumière reçue par une surface donnée (1 lux = 1 lumen par mètre carré). Ainsi, une même source peut produire un éclairement différent selon la distance ou la surface éclairée. On distingue également l'intensité lumineuse, exprimée en candela (cd), qui décrit la puissance lumineuse émise dans une direction donnée¹, ainsi que la luminance (*lire ci-après*), mesurée en cd/m², qui correspond à la perception de la brillance d'une surface par l'œil humain. Ces différentes grandeurs permettent de caractériser précisément les conditions d'éclairage.

Dans la vie courante, l'éclairement varie fortement selon les situations : il peut atteindre environ 100 000 lux en plein soleil, descendre à quelques milliers de lux sous un ciel couvert, et tomber à moins de 1 lux lors d'une nuit éclairée par la Lune. Ces ordres de grandeur permettent aussi d'évaluer les besoins en éclairage artificiel et d'adapter les dispositifs lumineux aux usages (habitat, travail, espace public). •

1. Correspondant à une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} Hz, avec une puissance lumineuse de 1/683 watt par stéradian (unité de mesure de l'angle solide dans l'espace).

Luminance

C'est une chose de qualifier la lumière par la source et son flux (en lumens) ou par l'éclairement qu'elle produit sur une surface (en lux), c'en est une autre de mesurer la brillance qu'elle provoque sur les surfaces solides qui la renvoient. La luminance (ou brillance) se définit ainsi comme le « *quotient de l'intensité lumineuse d'une surface par l'aire apparente de cette surface pour un observateur lointain* »¹. En somme, une unité de mesure de l'intensité lumineuse qui arrive sur une aire donnée, dans une direction donnée selon un angle d'observation donné. La luminance s'exprime en candela par mètre carré (cd/m²) ou en nits, pour les écrans électroniques. Cette luminance peut être très variable selon la surface, par exemple très faible pour une route (moins de 2 cd/m²), alors qu'un paysage sous un ciel couvert atteint déjà 300 à 5 000 cd/m². Attention à ne pas confondre la luminance avec l'éclairement, qui ne mesure pas la quantité de lumière émise mais celle reçue par une surface et s'exprime en lux (lx). Dans les deux cas, cette mesure est basée sur l'œil humain, qui est capable, pour une intensité de lumière identique, de percevoir une brillance différente en fonction de la couleur de l'objet. La luminance est couramment utilisée en astronomie, où elle permet de caractériser des corps célestes, ou dans l'ingénierie optique. En informatique, le terme « luminance » possède une définition particulière car il désigne plus spécifiquement l'écart entre la luminosité d'un point par rapport aux valeurs maximales de blanc et de noir que

l'écran est en mesure d'afficher². Mais l'architecture sait se saisir de cet outil de mesure, notamment quand il s'agit d'utiliser la lumière naturelle pour concevoir des espaces ou pour construire des éclairages artificiels. Cela sert par exemple lors de travaux de modélisation 3D pour créer des objets visuels reproduisant au mieux le réel. La non-prise en compte de la luminance aboutit parfois à un décalage important entre les projections visuelles et la réalisation finale. Un bâtiment neuf éclairé par une journée ensoleillée aura ainsi une brillance bien plus forte que sous une météo nuageuse, qui renforcera l'effet de ternissement des couleurs. À l'inverse, c'est précisément cette luminance qui permet aux « Outrenoirs » du peintre Pierre Soulages, pourtant composés uniquement de nuances de noir et de reliefs, de sembler lumineux au regard du spectateur. •

1. Définition du centre national des ressources textuelles et lexicales (CNRTL).
2. La « luminosité » des écrans est en fait une mesure relative en fonction des réglages et des capacités d'affichage de l'appareil.

Trame noire

Moins connue que celle de l'air ou de l'eau, la pollution lumineuse nocturne perturbe aussi l'ensemble du cycle de vie des espèces végétales et animales (*lire page 16*). Depuis quarante ans, les scientifiques ont mis en évidence l'importance de préserver des réserves de ciel nocturne pour favoriser l'observation scientifique des étoiles et les habitats d'espèces nocturnes. Il existe cinq sites en France : dans les Pyrénées, les Cévennes, le parc naturel régional de Millevaches en Limousin, le Vercors et, dans le Sud-Est, le territoire des Alpes Azur Mercantour. Mais la protection de ces zones isolées ne suffit pas : les espèces se déplacent ; une communauté animale ne peut survivre durablement si elle reste isolée dans une réserve. Pour sa survie, elle doit pouvoir circuler entre ses différentes zones d'habitat (sites de reproduction, d'alimentation, de repos ou de refuge), en empruntant des couloirs écologiques, c'est-à-dire des continuités d'habitats reliant différentes zones naturelles, appelées « trame verte » pour les espaces terrestres (forêts, prairies, haies) et « trame bleue » pour les milieux aquatiques (rivières, zones humides). La trame noire fonctionne de la même manière, en reliant des zones d'obscurité et en limitant l'éclairage artificiel la nuit. Officiellement, elle qualifie « *un réseau de corridors écologiques nocturnes et de sites où l'empreinte lumineuse est fortement diminuée* »¹. Les trames noires visent ainsi à limiter plusieurs effets de la pollution lumineuse sur

la biodiversité : désorientation des insectes attirés par la lumière (phototaxie positive), perturbation des cycles de reproduction et modification des comportements de migration chez de nombreuses espèces, perturbation des rythmes circadiens (cycles biologiques jour/nuit – lire page 84). Pour limiter ces impacts, les trames noires reposent sur des outils concrets d'aménagement : extinction partielle de l'éclairage public sur certaines plages horaires, réduction de son intensité, orientation de la lumière vers le sol, installation de systèmes d'éclairage intelligents fonctionnant avec des détecteurs de présence, etc. •

1. Commission d'enrichissement de la langue française, *Journal officiel* « Lois et Décrets », JORF n° 0179 du 4 août 2022.

Température

Si l'on peut éclairer une surface avec une intensité plus ou moins forte, on peut également varier la « température » de cet éclairage. Le terme est lié à la sensation provoquée pour l'œil humain entre une dominante jaune (lumière chaude) et une dominante bleue (lumière froide) dans les couleurs produites par un système d'éclairage. La température de couleur se mesure en kelvin (K). Une unité définie d'abord en 1954, à partir de l'agitation thermique des atomes d'un corps. Vous avez ainsi certainement déjà vu ces photos avant/après d'une pièce qui passe en quelques instants d'une ambiance de chambre d'hôpital à un espace cosy par la seule variation de la température de couleur. Depuis 2018, une norme officielle¹ impose une limite de 3 000 K pour les éclairages extérieurs, et encore moins dans les parcs naturels. On considère généralement qu'entre 2 700 et 3 300 K, on se situe dans des lumières plutôt chaudes, qui créent un effet de confort, de détente, souvent utilisé dans les salons et chambres à coucher. La lumière blanche dite neutre, entre 3 300 et 5 000 K, est plutôt utilisée dans les espaces de travail, les cuisines et salles de bains car elle permet une bonne reproduction des couleurs pour réaliser des tâches précises. Enfin, au-delà de 5 000 K, la lumière blanche froide reproduit celle émise par la lumière du jour, stimule l'attention et révèle les détails ; elle est notamment utilisée dans les établissements de santé. Le passage des ampoules halogènes vers des ampoules LED, plus durables et 75 % moins éner-

givores (lire page 52), a bien entraîné une bascule vers des températures de couleur moins chaudes (minimum 2 700 K), mais la technologie, aujourd'hui maîtrisée, permet d'installer sans difficulté des LED dont la température descend jusqu'à 1 800 K, reproduisant l'éclairage très jauni de bougies, idéal pour créer des ambiances plus tamisées et confortables. Certaines technologies permettent également de faire varier la température de couleur de la lumière au fil de la journée. Reste que les éclairages LED peuvent, par rapport aux ampoules à incandescence, avoir un indice de rendu des couleurs (IRC)² légèrement plus faible. •

1. Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses.
2. Cet indice mesure la capacité d'une lumière à restituer les couleurs de manière fidèle, comme elles apparaissent à la lumière naturelle. Il ne dépend pas de la température de couleur elle-même, mais de la qualité globale du système d'éclairage, notamment de la composition du spectre lumineux émis.

Photosynthèse

Six molécules de dioxyde de carbone, douze molécules d'eau et suffisamment de lumière... tels sont les éléments nécessaires à la réaction biochimique de la synthèse par la lumière, ou photosynthèse. À partir de cette base, ce procédé biochimique permet de générer à la fois de l'énergie (sous forme de glucose) et six molécules d'oxygène. Pour avoir lieu, la photosynthèse nécessite un certain niveau de luminosité et de l'eau à une température idéalement entre 15 et 25 °C en milieu tempéré. Même si la plante utilise l'énergie stockée durant la journée pour maintenir son métabolisme la nuit, la photosynthèse elle-même nécessite la présence de lumière. Elle peut, dans certaines conditions, être réalisée à partir de lumières artificielles, avec des chambres dédiées à la croissance rapide de certaines plantes. La photosynthèse est aussi au cœur d'un autre enjeu majeur : la capture du carbone. En fixant le dioxyde de carbone atmosphérique dans la biomasse, les végétaux participent au cycle du carbone biogénique, c'est-à-dire qui engendre ou favorise la vie. Même s'ils constituent une composante essentielle du puits de carbone terrestre, les études les plus récentes¹ révèlent que ce sont avant tout les sols et la matière organique inerte qui stockent la plus grande quantité de carbone. À l'échelle globale, les écosystèmes terrestres dans leur ensemble absorbent environ 25 à 30 % des émissions anthropiques (d'origine humaine) de CO₂, dans des proportions similaires à celles des océans². Le reste, soit environ 40 %, s'accumule dans l'atmos-

phère et contribue au forçage radiatif³ à l'origine du réchauffement climatique. Dans ce système, la photosynthèse constitue le moteur biologique central de cette régulation climatique, en assurant le transfert continu du carbone atmosphérique vers la biomasse et, plus largement, vers les réservoirs terrestres et océaniques. La photosynthèse est par ailleurs elle-même affectée par le changement climatique. La hausse de la concentration en CO₂ augmente proportionnellement la quantité de photosynthèse réalisée⁴ et donc, jusqu'à un certain point, le rythme de croissance des espèces ; mais la hausse des températures peut aussi conduire à ralentir, voire interrompre le processus de photosynthèse, à diminuer l'évapotranspiration de la plante et à augmenter la température des plantes alentour, entraînant des risques de dépérissement⁵ à plus grande échelle. •

1. Bar-On Y. M. *et al.*, "Recent gains in global terrestrial carbon stocks are mostly stored in non-living pools", *Science*, 2025.
2. Source : Soubelet H., Delavaud A., Goffaux R., Voirin S., Bérel M., « Biodiversité et changement climatique : impacts sur la biodiversité, les écosystèmes français et les services écosystémiques », Fondation pour la recherche sur la biodiversité, 2023.
3. Modification du bilan énergétique de la Terre résultant d'un déséquilibre entre l'énergie solaire reçue et l'énergie réémise vers l'espace, induit par des facteurs externes (notamment les gaz à effet de serre).

4. Lucas A. Cernusak, Vanessa Haverd, Oliver Brendel, Didier Le Thiec, Jean-Marc Guehl, Matthias Cuntz, "Robust response of terrestrial plants to rising CO₂", *Trends in Plant Science*, 2019.
5. Doughty, C.E., Keany, J.M., Wiebe, B.C. *et al.*, "Tropical forests are approaching critical temperature thresholds", *Nature*, n° 621, 2023.