



Pollution lumineuse et environnement nocturne. Les productions scientifiques marquantes en 2023

Hélène Foglar, David Loose, Kévin Barré, Léa Mariton, Johan Milian, Samuel Challéat

► To cite this version:

Hélène Foglar, David Loose, Kévin Barré, Léa Mariton, Johan Milian, et al.. Pollution lumineuse et environnement nocturne. Les productions scientifiques marquantes en 2023. Observatoire de l'environnement nocturne; GDR2202 LUMEN (Lumière & environnement nocturne); CNRS; CNRS Écologie & Environnement. 2025. hal-05500330

HAL Id: hal-05500330

<https://cnrs.hal.science/hal-05500330v1>

Submitted on 9 Feb 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Pollution lumineuse & environnement nocturne

*Les productions scientifiques
marquantes de l'année 2023*

SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE
RÉALISÉE DANS LE
CADRE DU DÉFI
CLÉ OCCITANIE
BIODIVOC



Pollution lumineuse & environnement nocturne
Les productions scientifiques marquantes de l'année 2023



Photographie : Samuel Challeat

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Hélène Foglar*
David Loose*
Kévin Barré
Léa Mariton
Johan Milian
Samuel Challéat**

ÉQUIPE DU DÉFI CLÉ OCCITANIE BIODIVOC

Philippe Jarne
Gaëlle Mathieu-Ernande
Hanna Emlein
Tatiana Simic

RÉALISATION

Conception graphique :
Samuel Challéat

Photographies :
David Loose
Samuel Challéat

* Hélène Foglar et David Loose partagent la position de premiers auteurs de ce rapport bibliographique.

** Samuel Challéat a coordonné ce travail au sein de l'Observatoire de l'environnement nocturne du CNRS, en lien avec l'équipe du défi clé Biodiv'Oc.



Photographie : Samuel Challeat

SOMMAIRE

- 11 UNE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ? POUR QUI, ET POUR QUOI FAIRE ?**
*PAR SAMUEL CHALLÉAT, COORDINATEUR DE L'OBSERVATOIRE
DE L'ENVIRONNEMENT NOCTURNE DU CNRS*
- 17 ARTICLES APPROCHE GLOBALE DE LA POLLUTION LUMINEUSE**
- 23 LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS LE CHAMP DE L'ASTRONOMIE**
- 25 LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS LES CHAMPS
DE LA MÉTROLOGIE ET DE LA MODÉLISATION**
- 31 LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS
LE CHAMP DES SCIENCES DU VIVANT**
- 55 LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS LES CHAMPS DES
SCIENCES DE LA SOCIÉTÉ ET DES SCIENCES DU TERRITOIRE**
- 65 LES THÈSES DE DOCTORAT**
- 69 LES RAPPORTS TECHNIQUES INSTITUTIONNELS**
- 77 L'OBSERVATOIRE DE L'ENVIRONNEMENT NOCTURNE DU CNRS**
- 81 LE DÉFI CLÉ OCCITANIE BIODIVOC**







UNE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ? POUR QUI, ET POUR QUOI FAIRE ?

SAMUEL CHALLÉAT, COORDINATEUR DE
L'OBSERVATOIRE DE L'ENVIRONNEMENT
NOCTURNE DU CNRS

L'ampleur des connaissances produites depuis deux décennies sur la lumière artificielle nocturne constitue à la fois une richesse scientifique considérable et un défi majeur pour celles et ceux qui doivent en traduire les implications dans l'action publique. Le phénomène est désormais identifié comme une pression environnementale transversale, qui affecte aussi bien les dynamiques des écosystèmes que les organisations socio-spatiales, les pratiques nocturnes, les politiques d'aménagement ou les imaginaires collectifs de la nuit. Mais cette reconnaissance élargie s'accompagne d'une difficulté croissante : celle d'ordonner des savoirs extrêmement dispersés dans les disciplines, de les mettre en perspective, et surtout de les rendre opératoires pour des acteurs territoriaux confrontés à des enjeux situés, à des arbitrages concrets et à des injonctions parfois contradictoires. Dans ce contexte, la nécessité d'une synthèse bibliographique interdisciplinaire n'est pas seulement académique : elle constitue un préalable indispensable à toute stratégie territoriale sérieuse en matière de gestion de la lumière nocturne.

La première raison de cette nécessité tient à la fragmentation et à l'asymétrie des connaissances disponibles. Les sciences de l'écologie, de la chronobiologie, de la physiologie, de la géographie, des sciences du territoire ou encore des STS (*Science & technology studies*) ont multiplié les enquêtes, les expérimentations et les analyses portant sur des dimensions souvent très spécifiques : comportements d'espèces sensibles, perturbations hormonales ou circadiennes, effets sur les ré-

seaux trophiques, régimes d'équipement urbain, normes d'éclairage, trajectoires sociotechniques des dispositifs lumineux, conflits d'usage, etc. Chaque champ disciplinaire propose ainsi un éclairage précieux sur un fragment du problème, mais ces éclairages ne se recouvrent que partiellement, et parfois se contredisent ou se juxtaposent sans réelle articulation. Le corpus scientifique est à la fois foisonnant et inégal : certaines thématiques ont fait l'objet d'investigations nombreuses et robustes, quand d'autres sont encore émergentes, lacunaires ou méthodologiquement fragiles. Les études se déploient sur des échelles variées, souvent difficilement compatibles entre elles : expériences en laboratoire, observations de terrain ponctuelles, suivis de long terme, analyses paysagères, modèles de dispersion lumineuse ou mesures photométriques. La conséquence, pour un acteur territorial, est une impression de saturation d'informations difficilement hiérarchisables : non que la connaissance manque, mais qu'elle peine à offrir un tableau cohérent de ses certitudes, de ses zones d'ombre et de ses marges de validité. Une synthèse bibliographique rigoureuse permet précisément de recomposer ce paysage hétérogène, d'identifier ce qui est bien établi, ce qui demeure incertain, ce qui est discuté, et dans quelles conditions méthodologiques ou écologiques les résultats peuvent être transposés. Sans cela, la gouvernance territoriale en matière de lumière nocturne repose sur une base fragile, exposée aux interprétations approximatives, aux simplifications abusives et aux contresens opérationnels.

Cette exigence de mise en cohérence renvoie directement aux attentes et aux besoins des collectivités, des gestionnaires d'espaces naturels et des services techniques. Ces acteurs sont confrontés à des décisions très concrètes qui supposent d'articuler des dimensions multiples – biodiversité, sécurité, pratiques sociales, attractivité touristique, contraintes réglementaires, coûts énergétiques, représentations culturelles de la nuit – dans des contextes territoriaux toujours singuliers. Ils se trouvent alors en demande d'indicateurs, de repères, de seuils, voire de solutions, alors que la littérature scientifique, de son côté, produit essentiellement des modèles explicatifs et des résultats de recherche rarement formulés en termes directement opératoires. Une synthèse bibliographique ne vise pas à transformer la science en prescriptif, mais à offrir une vision ordonnée de ses apports : elle met en perspective les résultats parfois contradictoires, elle expose les conditions expérimentales qui encadrent leur validité, elle explicite les controverses et les limites méthodologiques, elle distingue les mécanismes bien documentés des hypothèses encore spéculatives. Ce travail permet aux acteurs territoriaux de disposer d'un socle commun de compréhension, sans lequel toute stratégie d'aménagement nocturne risque d'être guidée par des intuitions, des habitudes ou des représentations culturelles héritées plutôt que par un rapport éclairé aux lignes de preuve disponibles. Une telle synthèse devient ainsi un véritable instrument d'intelligence collective, qui ne prescrit pas des solutions prêtes à l'emploi mais rend possible un arbitrage éclairé entre différentes voies d'action.

Une autre raison fondamentale rendant indispensable une synthèse bibliographique tient au risque de dérive technocratique que comporte la gestion de la nuit. Face à un problème complexe, polycentrique et profondément relationnel comme la pollution lumineuse, la tentation est souvent grande de recourir à des dispositifs normatifs ou métriques standardisés, en supposant que la maîtrise technique des flux lumineux suffise à régler les problèmes écologiques et sociaux. C'est le cas, par exemple, des découplages récurrents

entre la mesure photométrique et les effets biologiques, des zonages appliqués sans véritable ancrage écologique, ou encore des modèles de continuités écologiques conçus comme des abstractions spatiales déconnectées des dynamiques de terrain. Cette tendance à la simplification repose en partie sur une méconnaissance de la littérature scientifique la plus récente, qui souligne au contraire les effets indirects, les cascades écologiques, les interactions avec d'autres pressions anthropiques, les dynamiques adaptatives des espèces, ainsi que les dimensions culturelles, paysagères et politiques de la nuit. La synthèse bibliographique joue un rôle critique en rappelant que la lumière n'est jamais un simple flux, mais un élément structurant d'un milieu nocturne vivant, hétérogène et dynamique. Elle montre que les prescriptions technocratiques, lorsqu'elles ignorent cette complexité, peuvent produire des effets inattendus, des maladaptations ou des conflits sociaux. Elle invite les institutions à dépasser les approches réductrices et à concevoir la gouvernance de la lumière nocturne non comme un problème d'ingénierie, mais comme un enjeu écologique, territorial et politique.

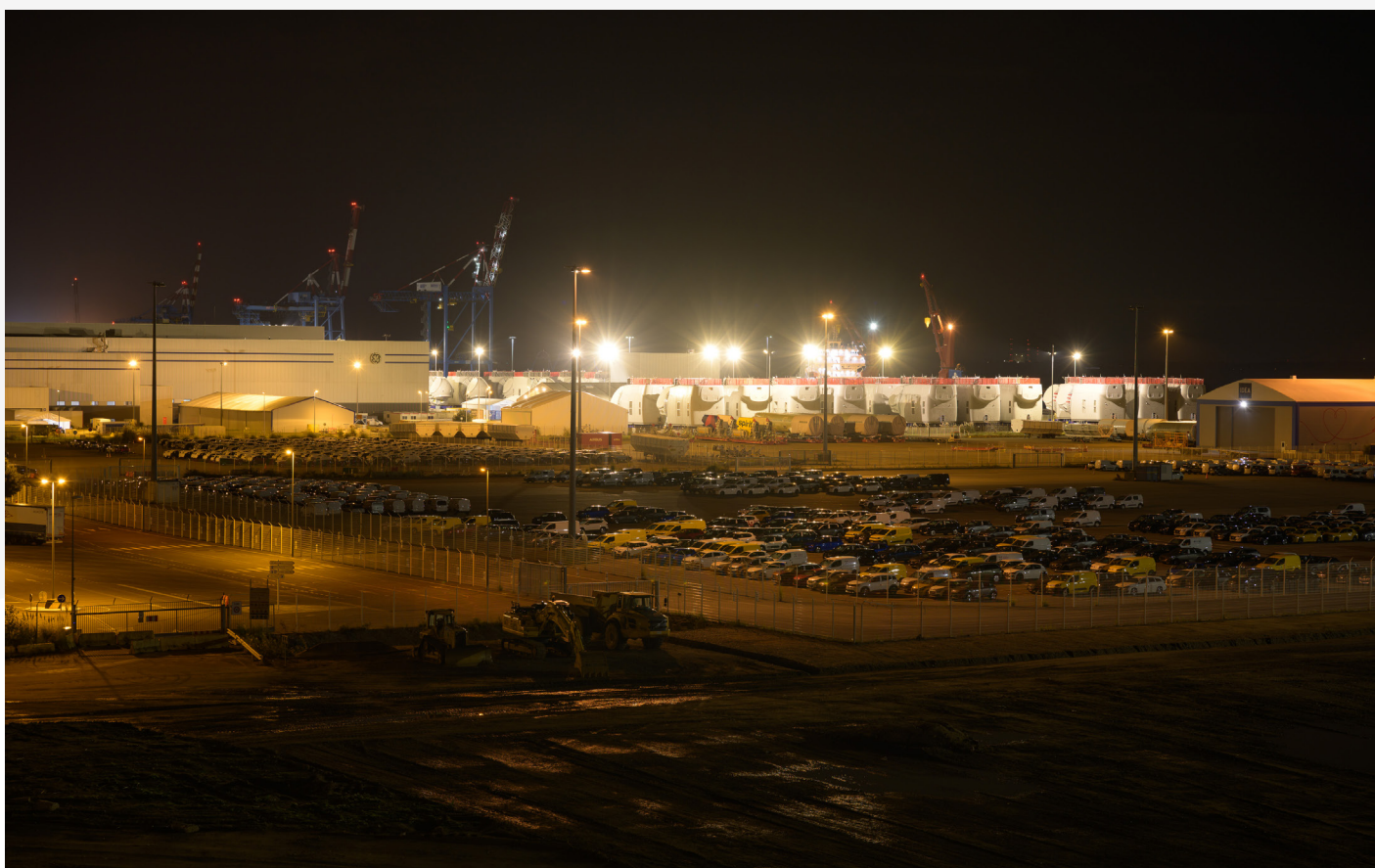
La synthèse bibliographique offre également un levier essentiel pour construire une véritable gouvernance adaptative et située de la pollution lumineuse. Les territoires ne sont pas des surfaces neutres, mais des assemblages vivants d'acteurs, d'usages, d'infrastructures, d'histoires locales, de contraintes matérielles et de valeurs sociales. Pour que les politiques nocturnes puissent émerger, s'ajuster et se stabiliser, il faut disposer d'une vision claire des interactions entre sources lumineuses, habitats, continuités écologiques, usages sociaux de la nuit, dispositifs réglementaires, paysages culturels et dynamiques économiques. Une synthèse bien construite permet d'explicitier ces interactions, de documenter les marges d'incertitude, de situer les connaissances dans une pluralité de contextes et de fournir des éléments de compréhension partagée qui facilitent la délibération collective. Elle devient ainsi un support de dialogue entre services techniques, élus, gestionnaires, associations, acteurs économiques ou

habitants. En clarifiant les controverses scientifiques et en identifiant ce qui est suffisamment robuste pour orienter des choix publics, elle facilite la construction de compromis territoriaux durables.

Enfin, la synthèse bibliographique constitue une pièce centrale dans l'articulation entre régulation, expérimentation et évaluation. La gestion de la lumière nocturne ne peut se résumer à l'édiction de normes : elle doit s'inscrire dans des trajectoires d'apprentissage, faites de projets pilotes, d'ajustements progressifs, de retours d'expérience et de suivis écologiques ou socio-spatiaux. La littérature scientifique fournit des éléments pour penser cette articulation, mais ceux-ci demeurent souvent dispersés. Synthétiser ces résultats, c'est permettre aux acteurs territoriaux de choisir des indicateurs pertinents, de sélectionner des méthodes de suivi adaptées, de repérer ce qui a été testé ailleurs et d'anticiper les effets non intentionnels. C'est aussi leur donner la possibilité d'inscrire leurs actions dans une temporalité longue, indispensable à l'évaluation écolo-

gique des mesures d'atténuation ou d'extinction, dont les effets ne se manifestent que rarement à court terme.

En définitive, une synthèse bibliographique interdisciplinaire, critique et contextualisée n'est pas une simple opération de compilation. Elle constitue un outil structurant de la gouvernance territoriale de la nuit, un moyen d'ordonner l'état des savoirs, de clarifier les marges d'incertitude, de prévenir les simplifications hâtives et de soutenir les dynamiques de coopération entre acteurs. Elle permet d'ouvrir un espace de décision informé, où la complexité de la nuit devient non pas un obstacle mais un terrain de réflexion collective, ancré dans des connaissances partagées et dans une responsabilité commune envers les milieux nocturnes.



Photographie : David Loose







Photographie : Samuel Challeat

LES PRODUCTIONS OPÉRANT UNE APPROCHE GLOBALE DE LA POLLUTION LUMINEUSE

Light pollution in complex ecological systems

La pollution lumineuse dans les systèmes écologiques complexes

Revue

Philosophical Transactions of the Royal Society B (numéro thématique)

Auteurs

M.R. Hirt, D.M. Evans, C.R. Miller, & R. Ryser

Institution d'affiliation du premier auteur

German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Allemagne.

Résumé

L'article propose une synthèse ambitieuse sur la manière dont la pollution lumineuse agit au sein de systèmes écologiques complexes. Les auteurs rappellent d'abord que la plupart des organismes dépendent des cycles naturels de lumière pour se repérer, s'orienter, se synchroniser ou réguler leurs fonctions biologiques. L'introduction massive et récente de la lumière artificielle nocturne constitue donc une perturbation évolutivement nouvelle, à laquelle peu d'espèces sont préparées. Si les effets physiologiques et comportementaux de l'éclairage nocturne sur les individus sont bien documentés, on connaît en revanche beaucoup moins la manière dont ces effets se propagent à des niveaux d'organisation supérieurs – interactions, communautés, réseaux trophiques, écosystèmes – ce qui limite notre capacité à anticiper ses impacts réels.

L'article insiste sur la diversité des propriétés physiques de la lumière artificielle – intensité, durée et moment d'éclairement, spectre, diffusion atmosphérique – qui conditionnent des réponses écologiques complexes et parfois contradictoires. Les auteurs soulignent l'importance particulière du *skyglow*, halo lumineux diffus et omniprésent, souvent très faible en intensité mais potentiellement lourd de conséquences car de nombreux organismes sont adaptés à des signaux lumineux subtils tels que la lune ou les étoiles. Plusieurs travaux récents montrent que même de faibles illuminances diffuses peuvent modifier la biomasse végétale, les comportements de prédation, les réseaux trophiques ou la dynamique des communautés de sol ou d'insectes. À partir de ces bases, l'article expose comment les perturbations individuelles se répercutent en cascade : une modification des

PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS B

royalsocietypublishing.org/journal/rstb

Introduction

Cite this article: Hirt MR, Evans DM, Miller CR, Ryser R. 2023 Light pollution in complex ecological systems. *Phil. Trans. R. Soc. B* **378**: 20220351.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0351>

Received: 29 September 2023
Accepted: 2 October 2023

One contribution of 17 to a theme issue 'Light pollution in complex ecological systems'.

Subject Areas:
ecology, ecosystems

Keywords:
artificial light at night, community, ecosystem, modelling, network, global change

Authors for correspondence:
Myriam R. Hirt
e-mail: myriam.hirt@div.de
Remo Ryser
e-mail: remo.ryser8@gmail.com

Light pollution in complex ecological systems

Myriam R. Hirt^{1,2}, Darren M. Evans³, Colleen R. Miller^{4,5} and Remo Ryser^{1,2}

¹German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Halle-Jena-Leipzig, Puschstr. 4, 04103 Leipzig, Germany
²Institute of Biodiversity, Friedrich-Schiller-University Jena, Jena, 07743, Germany
³School of Natural and Environmental Sciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, NE1 4LB, UK
⁴Department of Ecology & Evolutionary Biology, Cornell University, Ithaca, NY, 14853, USA
⁵Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY, 14850, USA

MRH, 0000-0002-8112-2020; DME, 0000-0003-4061-6736; CRM, 0000-0002-2534-2199; RR, 0000-0002-3771-8986

Light pollution has emerged as a burgeoning area of scientific interest, receiving increasing attention in recent years. The resulting body of literature has revealed a diverse array of species-specific and context-dependent responses to artificial light at night (ALAN). Because predicting and generalizing community-level effects is difficult, our current comprehension of the ecological impacts of light pollution on complex ecological systems remains notably limited. It is critical to better understand ALAN's effects at higher levels of ecological organization in order to comprehend and mitigate the repercussions of ALAN on ecosystem functioning and stability amidst ongoing global change. This theme issue seeks to explore the effects of light pollution on complex ecological systems, by bridging various realms and scaling up from individual processes and functions to communities and networks. Through this integrated approach, this collection aims to shed light on the intricate interplay between light pollution, ecological dynamics and humans in a world increasingly impacted by anthropogenic lighting. This article is part of the theme issue 'Light pollution in complex ecological systems'.

1. Introduction

Organisms of most forms have adapted to using light as a source of energy or information. Primary producers such as plants, algae and cyanobacteria use light to synthesize complex molecules, grow and store energy. The overwhelming majority of organisms also use light as a carrier of information. For instance, light allows many organisms to process information about the abiotic and biotic environment. Moreover, variability in the light regime works like a metronome for many organisms by determining the timing and duration of days, months (or moon cycles) and seasons. For example, some plants use this information to time the onset of developing leaves or flowers [1], while corals have been shown to align the time point of spawning with the moon [2–4] and nocturnal animals usually start their daily activity after solar irradiance drops below a certain level [5]. Furthermore, some animals use light for orientation. For example, sea turtle hatchlings find their way to the ocean by moving towards the brighter horizon, which under natural conditions is over the ocean [6] and some birds and other animals can even navigate by starlight [7,8]. Overall, this highlights that natural light cycles are of immense importance for life on Earth.

The natural light regime, however, was disrupted when humans began to artificially light the night by using fire from wood, candles and oil lamps. The pollution of the night sky was recognized for the first time by astronomers in the first half of the twentieth century [9] as it started to interfere with their celestial observations and this phenomenon soon attracted the attention of a

© 2023 The Authors. Published by the Royal Society under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, provided the original author and source are credited.

rythmes circadiens, des comportements de déplacement ou des niveaux hormonaux peut entraîner des changements dans les taux de prédation, la compétition ou l'herbivorie ; ces altérations influencent à leur tour la structure et la stabilité des réseaux écologiques, modifiant la composition des communautés, la diversité, les flux de matière et d'énergie entre systèmes, et finalement le fonctionnement des écosystèmes. Certaines études suggèrent même que l'éclairage nocturne pourrait favoriser l'émergence de communautés « sans analogues historiques », tant il restructure les niches temporelles et les interactions.

Les auteurs insistent sur la nécessité de développer des approches expérimentales quantitatives, notamment des relations dose-réponse, afin de comprendre la forme exacte des effets écologiques de la lumière (linéaires, saturants, non monotones). La plupart des études ne comparent que présence/absence de lumière, ce qui empêche de saisir la complexité réelle des réponses. Une telle compréhension mécaniste est indispensable pour construire des modèles prédictifs capables d'extrapoler les impacts de l'éclairage selon l'intensité, le spectre, la durée, mais aussi dans l'espace et dans le temps.

Enfin, l'article replace les humains au cœur du système : ils sont à la fois les principaux producteurs de lumière, les bénéficiaires de ses usages et les victimes de ses effets directs et indirects. L'éclairage artificiel perturbe les rythmes biologiques humains et peut contribuer à divers problèmes sanitaires ; mais il dégrade aussi les services écosystémiques essentiels, comme la pollinisation, la régulation des ravageurs ou le fonctionnement des sols et des milieux aquatiques. Certaines conséquences indirectes affectent même les risques sanitaires, notamment via les déplacements et comportements des espèces vectrices de maladies.

Les auteurs concluent que la pollution lumineuse doit être étudiée – et gérée – comme un facteur de changement global à part entière : elle traverse les échelles, les écosystèmes et les réseaux, relie les dynamiques écologiques à des décisions techniques et sociales, et nécessite une approche interdisciplinaire intégrant biologie, physique de la lumière, modélisation, comportement humain et politiques de mitigation. L'ensemble du numéro thématique auquel appartient l'article vise ainsi à combler les lacunes majeures de connaissance et à favoriser l'émergence de stratégies de gestion fondées sur une compréhension systémique de la nuit et de sa perturbation.



Photographie : Samuel Challeat

*Losing the darkness***Perdre l'obscurité (introduction
au numéro thématique)****Revue**

Science (numéro thématique)

Auteurs

K.T. Smith, B. Lopez, S. Vignieri, & B. Wible

Institution d'affiliation du premier auteur

AAAS Science International: Cambridge, GB.

**Traduction de l'introduction
à la section thématique**

Pendant la majeure partie de l'histoire humaine, les seules lumières créées par les hommes étaient des flammes nues. La vie quotidienne était rythmée par le lever et le coucher du soleil, les activités nocturnes en extérieur dépendaient des phases de la Lune, et l'observation des étoiles était une pratique courante et culturellement importante. Aujourd'hui, le déploiement massif de l'éclairage électrique extérieur fait que la nuit n'est plus sombre pour la majorité des gens — rares sont ceux qui peuvent encore voir la Voie lactée depuis leur domicile. L'éclairage extérieur a de nombreux usages légitimes qui ont bénéficié à nos sociétés. Cependant, il entraîne souvent une illumination inutile, excessive, intrusive ou dommageable : c'est la pollution lumineuse.

Ce numéro spécial examine les effets de la pollution lumineuse sur le monde naturel, la santé humaine et le ciel nocturne. Il discute des méthodes permettant de mesurer le niveau de pollution lumineuse et des actions possibles pour y remédier.

La quantité de pollution lumineuse et son étendue géographique augmentent rapidement, aggravant ses impacts sur l'environnement. Cette lumière gaspillée consomme d'immenses quantités d'électricité, avec des coûts financiers et des émissions de gaz à effet de serre associés. Bien que les lampadaires soient la source la plus visible d'éclairage extérieur, la pollution lumineuse provient souvent des bâtiments, des véhicules, de la publicité lumineuse, des installations sportives et de nombreuses autres sources.

Heureusement, la pollution lumineuse ne s'accumule pas dans l'environnement : il suffit d'éteindre les lumières pour l'arrêter, même si cela n'est pas toujours possible en pratique. Souvent, les responsables d'un éclairage inadéquat ignorent qu'il génère une pollution nuisible à l'environnement. Un design soigné, une technologie appropriée et une régulation efficace peuvent permettre de conserver les bénéfices de la lumière artificielle nocturne tout en minimisant ses effets néfastes. Si nous échouons, ce qui reste encore de la nuit noire disparaîtra.

* * *









Photographie : Samuel Challeat

LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS LE CHAMP DE L'ASTRONOMIE

Stewardship of space as shared environment and heritage

Gérance de l'espace en tant qu'environnement et patrimoine partagés

Revue

Nature Astronomy

Autrice

A. Venkatesan

Institution d'affiliation du premier auteur

Tracy Seeley Center for Teaching Excellence, University of San Francisco, San Francisco, CA, USA.

Résumé

L'article d'Aparna Venkatesan attire l'attention sur une transformation profonde et souvent méconnue : la manière dont l'orbite terrestre basse, saturée par des milliers de satellites issus pour l'essentiel de méga-constellations privées, est en train de modifier non seulement les conditions de la recherche astronomique, mais aussi notre rapport collectif au ciel nocturne. Si ces satellites ouvrent des perspectives prometteuses en matière de télécommunications, d'accès à Internet ou d'applications éducatives, ils génèrent dans le même temps des conséquences préoccupantes, parmi lesquelles la pollution lumineuse, les risques de collisions, la production massive de débris, les failles de cybersécurité et la dégradation progressive d'un environnement encore très peu régulé. Ce constat est d'autant plus alarmant que les astronomes manquent souvent des données nécessaires pour évaluer et anticiper l'ampleur réelle des impacts, faute de transparence et de coordination internationale.

Au-delà de la dimension technique, Venkatesan insiste sur un aspect que les débats publics et industriels négligent presque totalement : le ciel nocturne constitue un patrimoine immatériel universel, un héritage partagé qui relie les sociétés humaines depuis des millénaires. À travers les récits d'origine, les mythes, les traditions spirituelles, les systèmes de navigation, les calendriers, les arts et les sciences, les étoiles ont façonné notre manière de comprendre le monde et notre place dans l'Univers. La vision du ciel, qui a toujours été un point d'ancrage culturel et existentiel, est aujourd'hui altérée de façon tangible par la prolifération de satellites visibles, modifiant une expérience sensible et symbolique que les générations futures risquent de ne plus connaître. Ce changement, rapide et irréversible, affecte notre capacité collective à transmettre une relation ancestrale à la nuit étoilée, et

Worldview

Stewardship of space as shared environment and heritage

<https://doi.org/10.1038/s41550-023-01915-z>



Check for updates

By Aparna Venkatesan

Low Earth orbits are increasingly congested, impacting astronomical observations and dark skies. Globally coordinated regulatory policies and mitigation strategies are among urgent next steps to protect this shared environment and intangible heritage.

We live in noisy times. Our maximally packed cognitive and digital bandwidths now extend to low Earth orbit (LEO) where we continue the crowding of orbital space and auctioned communications handshakes. Since 2019, we have seen a growing occupation of LEO that is predicted to accelerate in 2023, predominantly by private interests so far but also by increasing numbers of spacefaring countries. Such satellite megaconstellations hold great potential for science, education and providing global broadband to bridge the digital divide. However, there are increasing concerns about light pollution (individually as well as collectively from satellites), environmental degradation, cybersecurity breaches and the potential for debris cascades. Astronomers are attempting to develop mitigating solutions building from educated guesswork, dialogue with industry and limited access to data on LEO crowding. Without coordinated global regulation and oversight, clear international protocols for orbital traffic management, or minimal standards for environmental impacts, the wide-ranging consequences for astronomers and for humanity are an ongoing endeavour of LEO whack-a-mole tinged with roulette. We are left with the growing unease of watching the slow-motion inevitability of a preventable disaster in LEO.

At this critical juncture for LEO, binary thinking and piecemeal incremental legislation continue to be a grave disservice. Instead of the artificial separation of scientific versus cultural practices or legislating narrow parts of the electromagnetic spectrum, we must respect and protect the integrative continuum in which all these concerns exist. Astronomers need to account for the aggregate effects of growing numbers of LEO satellites (see accompanying *Perspective* in this issue). We must also lead dialogue on all available options for broad access to affordable broadband, and advocate for equitable outcomes for education and economic development.

Between these islands of tangible issues lies an ocean of ill-assessed intangibles that are overlooked yet vital for our shared human endeavours in space. Astronomers study ancient objects with groundbreaking data, most recently from JWST. But just as worthy is our ancient relationship with the night sky. Space is our shared heritage and ancestor — connecting us through science, storytelling, art, origin stories and cultural traditions — and it is now at risk. Many of today's leading space exploration corporations themselves harness the power of storytelling, depicting the colonization of space as a frontier and an escape: a modern 'manifest destiny'. These narratives amplify conquest rather than communities, and feature only a few apex saviours with no roles for most of humanity. In contrast, the origin stories of the Big Bang theory or millennia-old sky traditions have our common heritage and belonging as the resonant centerpiece.

Surprisingly, space is not yet explicitly legislated as a human environment. Without active application of the precautionary principle to orbital space, we will enter an era of potentially irreversible damage in LEO from the aggregate toll of excess pollution. Who will be left holding the bill for such damage in unregulated terrain? The recent freefall collapse of cryptocurrency presents an alarming cautionary example, leaving amateur and citizen stakeholders in bankruptcy after investing in a narrative-driven unregulated industry.

We have also not accounted for the human aspects of a human environment. How will we handle harassment and racism, for example, during space travel, given their enduring persistence in Earth environments? US federal agencies are accountable through, for example, Title IX and Title VI, but are heavily reliant on private space actors to expand their presence in LEO and interplanetary space. Will these agencies consider the dissonance between their mission statements' diversity/equity/inclusion goals, and the growing number of lawsuits and open letters from employees at some private space companies regarding their toxic workplace environment for women and minorities? Without accountability or oversight, an organization's Earth-based workplace culture will surely be exported to space.

We may be forced to learn an uneasy coexistence with many of Earth's present crises, but we still have time to develop a thoughtful, sustainable and equitable approach to orbital space, the Moon and beyond. Urgently needed next steps include: making mitigation and environmental assessment, especially aggregate impacts, a condition of satellite licensing; centralizing the US licensing process and space traffic management in a single office or agency; and, coordinated international regulation and oversight. We can draw hope from recent developments in Hawaii: after years of stalemate regarding the future of Maunakea's observatories, the new Maunakea Stewardship Oversight Authority is shifting focus from individual constituencies to the stewardship of Maunakea itself as the shared environment for the interests of current and future generations. We can achieve this for LEO and space exploration through collective will and collaboration towards sustainable operations, equitable access and the long-term benefit of all constituencies in our shared skies.

Aparna Venkatesan  
Professor of Physics and Astronomy and Co-Director of the Tracy Seeley Center for Teaching Excellence, University of San Francisco, San Francisco, CA, USA.
✉ email: avenkatesan@usfca.edu

Published online: 20 March 2023

Competing interests
The author is an unpaid member and co-Chair of the American Astronomical Society's (AAS) Committee on Light Pollution, Radio Interference and Space Debris, whose scope of concerns includes the topics covered here. The views expressed in this article do not necessarily represent the positions of the AAS or of the University of San Francisco.

nature astronomy

Volume 7 | March 2023 | 236 | 236

pose une question fondamentale : que devient un patrimoine global quand il est transformé par des intérêts principalement privés et marchands ?

Venkatesan souligne que les grands acteurs industriels s'appuient volontiers sur des récits puissants — exploration, colonisation, conquête, destin — pour promouvoir leur présence dans l'espace, mais ces récits, loin de célébrer une vision partagée de l'humanité, tendent à réduire l'espace à une ressource à exploiter. Ils s'opposent à la perspective selon laquelle l'espace devrait être considéré comme un bien commun culturel et environnemental, et contribuent à invisibiliser les préoccupations liées au patrimoine immatériel. Cette dérive narrative participe d'une forme de privatisation symbolique du ciel, qui rompt avec les imaginaires collectifs portés par des traditions scientifiques et culturelles millénaires.

L'autrice rappelle également que si l'humanité se projette de plus en plus dans l'espace — à travers le tourisme spatial, les stations habitées ou les missions lointaines — elle y transportera aussi les inégalités, les discriminations et les violences présentes sur Terre. En l'absence de règles, la culture interne des entreprises privées, parfois marquée par des problèmes systémiques, risque de devenir la norme dans ces nouveaux environnements. Cela accentue encore l'enjeu patrimonial : l'espace n'est pas seulement un lieu physique, mais un prolongement des sociétés humaines où se rejouent des dynamiques sociales, culturelles et politiques.

Face à la fragilisation de ce patrimoine partagé, Venkatesan appelle à une gouvernance internationale forte et cohérente. Elle plaide pour que la protection du ciel nocturne intègre les dimensions culturelles, symboliques et immatérielles au même titre que les aspects techniques ou environnementaux. Elle s'appuie notamment sur l'exemple de Maunakea, à Hawaï, où une nouvelle instance de gouvernance place la « gérance » — *stewardship* — au centre de la gestion d'un lieu reconnu à la fois comme ressource scientifique majeure et comme site culturel et spirituel essentiel pour les communautés autochtones. Ce modèle, qui repose sur la reconnaissance de la pluralité des valeurs associées à un même espace, offre selon elle une inspiration pour la gestion de l'orbite terrestre basse.

En conclusion, l'article élargit considérablement le regard que nous portons sur l'espace : il ne s'agit plus seulement d'un support pour les télécommunications ou l'exploration scientifique, mais d'un héritage commun dont la dégradation menace une dimension fondamentale de l'expérience humaine. Préserver l'obscurité du ciel nocturne, ce n'est pas seulement protéger les observations astronomiques, c'est défendre un patrimoine culturel global, un lien millénaire avec le cosmos, et une part irremplaçable de notre humanité.



Photographie : David Loose

LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS LES CHAMPS DE LA MÉTROLOGIE ET DE LA MODÉLISATION

Measuring and monitoring light pollution: Current approaches and challenges

Mesurer et surveiller la pollution lumineuse : approches actuelles et défis

Revue

Science (numéro thématique)

Auteurs

M. Kocifaj, S. Wallner, & J.C. Barentine

Institution d'affiliation du premier auteur

Department of Optics, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, 845 03 Bratislava Slovaquie et Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics Physics and Informatics, Comenius University, 842 48 Bratislava, Slovaquie.

Résumé

L'article propose une synthèse des méthodes existantes pour mesurer et surveiller la pollution lumineuse, en soulignant leurs atouts, leurs limites et les défis scientifiques persistants. Les auteurs rappellent que la pollution lumineuse, produite par l'éclairage artificiel nocturne (ALAN), résulte principalement d'émissions mal orientées, d'une surintensité lumineuse, ou de l'usage de spectres inadaptés, notamment riches en bleu. Elle entraîne la formation de dômes lumineux au-dessus des villes, perturbe les écosystèmes, nuit à la santé humaine et compromet les observations astronomiques.

Mesurer cette pollution est indispensable pour comprendre ses causes, évaluer ses effets et guider les politiques de réduction. Pour cela, un large éventail de techniques est mobilisé. Au sol, on utilise notamment des photomètres à canal unique pour suivre la luminance du ciel au zénith, des caméras « all-sky » qui capturent l'ensemble de la voûte céleste en une seule image, et des drones permettant de mesurer localement la lumière reçue dans plusieurs directions, utiles pour étudier les impacts sur la faune. Les auteurs décrivent également les mesures d'éclairement et de luminance liées à la planification urbaine, indispensables pour évaluer les émissions de sources individuelles et optimiser les installations d'éclairage. À ces approches s'ajoutent les observations satellitaires, qui fournissent une vision globale de la lumière émise vers le ciel par les villes et les régions. Elles permettent de suivre les tendances mondiales de l'ALAN, notamment la progression annuelle de la



radiance émise vers le haut et l'expansion des zones éclairées. Cependant, les satellites actuels présentent des limites spectrales, étant peu sensibles au bleu, ce qui complique l'évaluation des effets de la transition vers les LED blanches.

Les auteurs insistent par ailleurs sur la nécessité de prendre en compte la variabilité atmosphérique. La diffusion de la lumière dans l'atmosphère dépend fortement des conditions météorologiques et de la présence d'aérosols, rendant les comparaisons temporelles délicates sans mesures atmosphériques complémentaires. Ainsi, deux nuits consécutives peuvent produire des niveaux de pollution lumineuse très différents malgré des conditions d'éclairage identiques. Les modèles théoriques jouent donc un rôle crucial pour simuler la propagation de la lumière et compléter les données empiriques, mais souffrent eux aussi d'incertitudes liées à la complexité des sources lumineuses urbaines.

L'article souligne plusieurs défis majeurs : l'absence de normes internationales pour les protocoles de mesure, les limites spectrales et dynamiques des instruments, l'influence déterminante de l'atmosphère sur les mesures, les variations locales du parc lumineux, ou encore la difficulté à obtenir des séries temporelles complètes. Malgré cela, les auteurs rappellent que les données accumulées — même imparfaites — ont une valeur considérable pour suivre l'évolution du phénomène, améliorer les modèles et éclairer les décisions en matière d'urbanisme, de conservation ou de gestion de l'environnement nocturne.

Enfin, ils plaident pour une coordination renforcée entre expérimentateurs et modélisateurs, ainsi que pour le développement de standards de mesure et d'instruments plus sensibles. Dans un contexte où la pollution lumineuse continue de croître à l'échelle mondiale, améliorer la qualité, l'homogénéité et l'interprétation des mesures apparaît indispensable pour produire un diagnostic fiable et soutenir les efforts de réduction de l'ALAN.



Photographie : David Loose

Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022

Mesurer et surveiller la pollution lumineuse : approches actuelles et défis

Revue

Science

Auteurs

C.C.M. Kyba, Y.Ö. Altıntaş, C.E. Walker, & M. Newhouse

Institution d'affiliation du premier auteur

Ruhr-Universität Bochum: Bochum, Nordrhein-Westfalen, Allemagne.

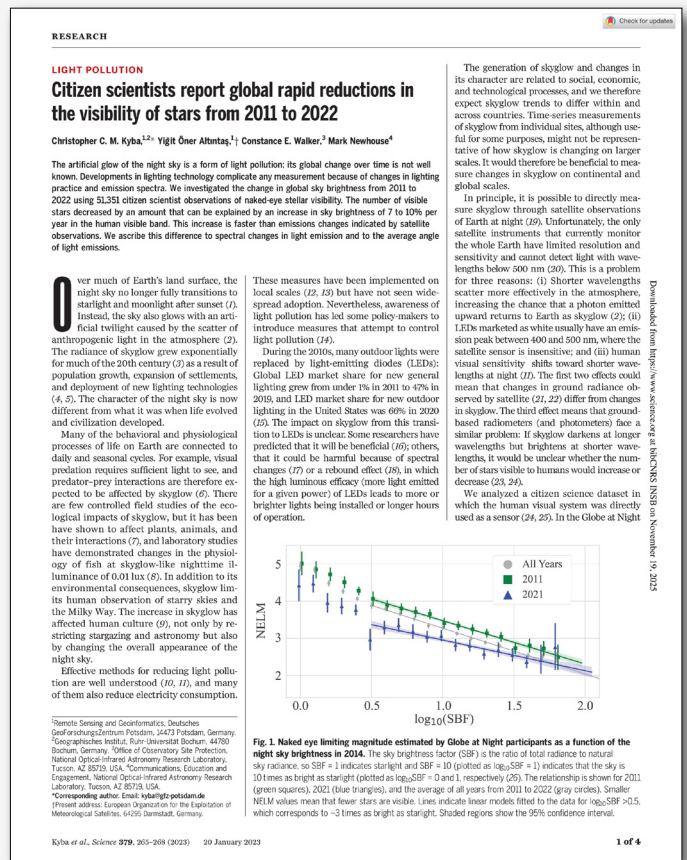
Résumé

L'article de Kyba et ses collègues examine l'évolution de la luminosité du ciel nocturne — le *skyglow* — à l'échelle globale entre 2011 et 2022, en s'appuyant sur un vaste corpus de plus de 51 000 observations citoyennes collectées dans le cadre du programme *Globe at Night*. Ce dispositif participatif invite des volontaires du monde entier à comparer la vision de leur ciel nocturne à diverses cartes stellaires afin d'estimer la magnitude limite à l'œil nu (NELM), qui correspond à la luminosité des étoiles les plus faibles encore visibles. Comme la visibilité des étoiles décroît lorsque le fond de ciel s'éclaircit, la NELM fournit un indicateur direct et sensible de la pollution lumineuse telle que perçue par les humains.

L'étude part d'un constat déjà largement documenté : l'éclairage artificiel nocturne s'est considérablement intensifié au cours du XXe siècle, modifiant l'apparence de la nuit et affectant les cycles biologiques, les interactions écologiques et les pratiques culturelles liées à l'observation du ciel. Mais les tendances récentes restaient mal connues, notamment en raison des limites des outils satellitaires actuellement disponibles, qui disposent d'une sensibilité limitée aux courtes longueurs d'onde et ne permettent pas de mesurer la lumière émise horizontalement, pourtant très contributrice au *skyglow*.

Pour pallier ces limites, les auteurs exploitent les observations citoyennes et les couplent aux données issues du *World Atlas of Artificial Night Sky Brightness* (2016). Ils élaborent un modèle statistique robuste destiné à extraire des tendances temporelles tout en tenant compte de la variabilité des contributeurs, des biais de localisation et des conditions environnementales. Leur analyse se concentre sur des observations réalisées en l'absence de crépuscule, de clair de lune et de neige au sol, afin d'isoler au mieux la part de lumière artificielle. La démarche permet d'établir des tendances pour l'Europe, l'Amérique du Nord et un ensemble d'autres régions regroupées sous l'étiquette « *Rest of World* », en raison de données moins homogènes.

Les résultats sont particulièrement frappants : à l'échelle globale, les auteurs estiment que la luminosité du ciel augmente de 9,6 % par an en moyenne, ce qui correspond à une croissance cumulée extrêmement rapide. À ce rythme, la luminosité du ciel pourrait être multi-



pliée par plus de quatre en une vingtaine d'années, modifiant radicalement l'expérience du ciel nocturne pour une génération entière. Concrètement, un lieu permettant d'observer 250 étoiles n'en laisserait plus voir qu'une centaine après une génération – une réduction drastique qui illustre une perte importante de l'accès humain au ciel étoilé. Les auteurs observent des disparités régionales : en Amérique du Nord, l'augmentation est estimée à plus de 10 % par an, tandis qu'en Europe, elle avoisine 6 à 7 %. Dans le reste du monde, elle est proche de 7 à 8 %, bien que les données y soient moins abondantes. Malgré ces variations, la tendance générale reste la même : partout où les observations sont suffisantes, la visibilité des étoiles se dégrade rapidement.

L'un des apports majeurs de l'article est la comparaison explicite entre ces résultats et les estimations issues des satellites. Alors que les observations satellitaires indiquent une augmentation beaucoup plus modérée — souvent autour de 1 à 2 % par an — les auteurs montrent que ces instruments échouent à capter une partie significative de la lumière émise vers le ciel. Les satellites ne détectent pas les longueurs d'onde inférieures à 500 nm, c'est-à-dire celles où les LED modernes émettent fortement. Or, la transition massive vers les LED, amorcée au début des années 2010, a déplacé les spectres d'émission vers le bleu, ce qui augmente l'efficacité de diffusion atmosphérique et amplifie le *skyglow* vu depuis le sol, sans augmenter proportionnellement la luminance dans les bandes auxquelles les satellites sont sensibles.

Cette dissociation entre données satellitaires et observations humaines montre que la pollution lumineuse progresse plus rapidement que ce que les indicateurs globaux laissent croire. Les auteurs expliquent également que la lumière émise horizontalement — provenant notamment de vitrines, enseignes, panneaux, véhicules ou éclairages décoratifs — échappe largement à la détection spatiale tout en représentant une source majeure de *skyglow*. Ce problème s'accroît quand les luminaires sont mal orientés, quand les LED sont installées sans précaution ou quand les usages non fonctionnels de la lumière se développent. L'étude pointe également un probable effet rebond : l'efficacité énergétique élevée des LED peut encourager les collectivités et les particuliers à installer davantage de points lumineux, à augmenter l'intensité d'éclairage ou à allonger les durées de fonctionnement, annulant ainsi les économies et aggravant la pression lumineuse nocturne. Cela expliquerait pourquoi l'introduction généralisée des LED n'a pas permis d'inverser la tendance, et pourquoi des régions pourtant engagées dans des politiques d'éclairage responsable voient néanmoins leur ciel s'assombrir d'année en année.

L'article insiste sur le caractère profondément complémentaire des observations citoyennes : là où les satellites produisent des séries numériques robustes mais incomplètes, les contributions humaines captent ce qui importe réellement pour la perception humaine du ciel et pour la biodiversité nocturne. Elles permettent de détecter des tendances que les capteurs spatiaux ne peuvent pas mesurer. Les auteurs soulignent aussi que les contributions proviennent principalement de zones densément éclairées — Europe, Amérique du Nord, Japon — ce qui signifie que la situation pourrait être pire dans des régions où l'éclairage augmente rapidement mais où les observations citoyennes sont rares.

En conclusion, l'étude livre un message clair : la visibilité des étoiles décline rapidement à l'échelle mondiale, et les politiques actuelles ne suffisent pas à enrayer la progression du *skyglow*. L'introduction des LED, en l'absence de normes strictes sur les spectres, les orientations et les usages, semble même accélérer cette dynamique. L'équipe appelle à renforcer les politiques publiques, à développer de nouveaux capteurs satellitaires sensibles aux longueurs d'onde courtes, à harmoniser les données issues du sol et de l'espace, et à poursuivre le développement de la science citoyenne pour suivre en temps réel l'évolution du ciel nocturne. L'enjeu n'est pas seulement scientifique : il concerne la perte progressive d'un patrimoine visuel, culturel et écologique fondamental – celui de la nuit étoilée.



Photographie : David Loose



Photographie : Samuel Challeat

LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS LE CHAMP DES SCIENCES DU VIVANT

Shedding light on the effects of LED streetlamps on trees in urban areas: Friends or foes?

Mise en lumière des effets des luminaires à LED sur les arbres en milieu urbain : amis ou ennemis ?

Revue

Science of the Total Environment

Auteurs

E. Lo Piccolo, G. Lauria, L. Guidi, D. Remorini, R. Massai, & M. Landi

Institution d'affiliation du premier auteur

Università degli Studi di Firenze, Florence, Italie.

Résumé

L'article étudie de manière expérimentale l'impact des lampadaires LED sur deux espèces d'arbres urbains parmi les plus répandues en Europe : *Platanus × acerifolia* (platane) et *Tilia platyphyllos* (tilleul). À la suite du remplacement massif des lampes au sodium par des LED émettant davantage de lumière bleue et rouge – des longueurs d'onde particulièrement efficaces pour la photosynthèse – les auteurs cherchent à comprendre comment cette technologie influence la physiologie et les rythmes saisonniers des arbres.

Les chercheurs ont cultivé des individus des deux espèces sous deux intensités réalistes de lampadaires LED (300 et 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en les comparant à des arbres témoins non éclairés la nuit. Ils ont suivi durant toute la saison végétative plusieurs paramètres : échanges gazeux, teneur en chlorophylle, teneur en amidon et en sucres, et phénologie automnale.

Les résultats montrent que les LED perturbent profondément les processus physiologiques, et cela de manière similaire pour les deux intensités testées. Les feuilles éclairées la nuit présentent des taux de photosynthèse positifs, alors que les témoins respirent normalement, ce qui signifie que les arbres continuent à assimiler du CO_2 au lieu d'entrer dans la phase nocturne prévue par leur horloge circadienne. Mais, en contrepartie, les feuilles montrent un affaiblissement marqué de leur performance photosynthétique au lever du soleil, suggérant un stress physiologique ou un dérèglement des mécanismes de récupération nocturne. Les deux espèces développent également des teneurs plus élevées en



chlorophylle, probablement parce que le spectre des LED (riche en bleu et rouge) bloque la baisse naturelle de la synthèse de chlorophylle pendant la nuit. La dynamique des glucides est également perturbée : les arbres éclairés accumulent moins d'amidon le jour, et en dégradent davantage la nuit, ce qui indique un rythme jour/nuit altéré. Ces modifications se manifestent différemment selon les stades foliaires, mais elles sont nettes pour les feuilles jeunes comme pour les feuilles matures.

La perturbation la plus spectaculaire concerne le platane : chez cette espèce, l'éclairage nocturne retarde nettement la sénescence automnale et l'entrée en dormance hivernale, un phénomène observé aussi dans de nombreuses villes. Le tilleul, en revanche, ne montre pas ce décalage phénologique, bien qu'il subisse des perturbations physiologiques importantes. Cela suggère que les réponses dépendent de la manière dont chaque espèce perçoit et utilise le photopériodisme.

Globalement, l'étude révèle que les lampadaires LED, même à des intensités faibles et sans effet thermique, exercent des effets profonds sur les arbres urbains. Ils modifient leurs rythmes physiologiques, altèrent leur métabolisme énergétique et peuvent perturber leur phénologie, avec des implications pour leur santé, leur résistance au froid, et la gestion des espaces verts urbains. Les auteurs appellent à concevoir des solutions d'éclairage moins perturbatrices pour les arbres, notamment des spectres lumineux moins absorbés par les pigments photosynthétiques.



Photographie : David Loose

Manipulating spectra of artificial light affects movement patterns of bats along ecological corridors

La manipulation des spectres de lumière artificielle affecte les déplacements des chauves-souris le long des corridors écologiques

Revue

Animal Conservation

Auteurs

K. Barré, I. Thomas, I. Le Viol, K. Spoelstra, & C. Kerbiriou

Institution d'affiliation du premier auteur

Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS, Sorbonne Université, Paris, France et Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, Station de Biologie Marine, Paris, France.

Résumé

L'article de Barré *et alii* explore de manière fine la manière dont les différentes couleurs de lumière artificielle – en l'occurrence la lumière blanche, verte et rouge – influencent le comportement spatial des chauves-souris dans un corridor écologique. Alors que de nombreuses études se sont concentrées sur l'activité acoustique ou sur la présence/absence des chauves-souris autour des lampadaires, celle-ci se distingue en examinant directement la dynamique des trajectoires de vol. L'objectif est de comprendre si et comment les chauves-souris modifient leur façon de se déplacer lorsqu'elles rencontrent une source lumineuse, et si certaines couleurs sont réellement plus « compatibles » avec la continuité écologique.

Pour cela, les chercheurs ont installé un dispositif expérimental dans une lisière forestière, un milieu particulièrement important pour les déplacements nocturnes des chauves-souris. Vingt-huit lampadaires ont été utilisés, chacun pouvant émettre un spectre lumineux particulier ou rester éteint. Autour de ces lampadaires, un ensemble dense de microphones a permis de localiser en trois dimensions les chauves-souris en vol grâce à leur écholocation. Ce protocole a donné accès à des milliers de trajectoires précises, permettant d'observer non seulement si les chauves-souris passaient à proximité, mais aussi comment elles réagissaient exactement lorsqu'elles s'approchaient d'une zone éclairée.

Les résultats montrent que la lumière agit comme un véritable filtre comportemental diffusé. Les espèces les plus sensibles à la lumière, notamment les chauves-souris de type *Myotis* ou *Plecotus*, réduisent fortement leur présence dès qu'un lampadaire est allumé, quelle que soit sa couleur. Elles contournent largement la zone illuminée ou s'en tiennent à distance, ce qui traduit un effet-barrière immédiat. Même une faible intensité lumineuse suffit à dissuader ces espèces d'avancer dans la zone concernée, ce qui pose un problème important pour la continuité écologique des corridors. À l'inverse, des espèces réputées

Animal Conservation

Animal Conservation. Print ISSN 1367-9430

Manipulating spectra of artificial light affects movement patterns of bats along ecological corridors

K. Barré^{1,2}, I. Thomas^{1,2}, I. Le Viol^{1,2}, K. Spoelstra³ & C. Kerbiriou^{1,2}

¹ Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, Centre National de la Recherche Scientifique, Sorbonne Université, Paris, France

² Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, Station de Biologie Marine, Paris, France

³ Department of Animal Ecology, Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Wageningen, The Netherlands

Keywords

bat movement; Chiroptera; barrier effect; flight behaviour; functional connectivity; streetlight crossing; artificial light; ecological corridors.

Correspondence

Kévin Barré, Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, Centre National de la Recherche Scientifique, Sorbonne Université, CP 135, 57 rue Cuvier, 75005 Paris, France. Tel: +33 2 98 50 99 28. Email: kevin.barre@mnhn.fr

Kamiel Spoelstra and Christian Kerbiriou share joint last authorship on this work. Editor: Vincenzo Perrieri Associate Editor: Scott MacIvor

Received 21 November 2022; accepted 18 March 2023

doi:10.1111/acv.12876

Abstract

Animal movement throughout the landscape is a key concept for population viability. Human footprint can reduce animal movement through barrier effects such as habitat change and fragmentation, or through enhanced resources. Artificial light at night (ALAN) can affect the movement of nocturnal animals such as bats that are highly mobile in the landscape. Very few studies have explicitly quantified the choices that moving bats make when they encounter a light source on their flight routes. We assessed whether ALAN of different colours (green, red and white) compared to control conditions affected the use of ecological corridors, considering (i) activity and (ii) movement along the corridor, for open, edge (i.e. light-opportunistic) and narrow-space (i.e. light-averse) foraging bats. We modelled the effects of 28 independent lamp-posts at four experimental sites on bat activity and movement (i.e. the number of trajectories towards the lamp-post and the probability of lamp-post crossing). Each lamp-post was sampled two to three times over eight complete nights using paired passive acoustic stereo recorders to record bat activity and reconstruct bat trajectories. Narrow-space foragers were much less active in presence of any light source, and fewer flew towards any lit lamp-posts. Open and edge-space foragers were more active close to white and green lights, and to a lesser extent red light, compared to unlit control sites. Edge-space foragers overall flew more towards white and green lamp-posts, but had a lower probability of fully crossing a white and red-lighted site. The study shows that ALAN can strongly alter bat movements along landscape structures, for light-averse but also light-opportunistic species. Such changes in flight behaviour may involve bypasses or detours, which may force bats to fly longer distances at night which could ultimately affect fitness. Our findings suggest that avoiding artificial lighting close to flight routes will benefit bats.

Introduction

The ability of animals to move throughout the landscape is essential for individual fitness and hence population viability (e.g. Hanski & Ovaskainen, 2000; Allan, Keesing, & Ostfeld, 2003). For many species, mobility is essential for daily foraging or seasonal reproduction. Mobility influences biotic interactions (e.g. predator-prey relationships or competition for resources) and ecological services species can provide to ecosystems (e.g. pest regulation, seed dispersal, disease dynamics and gene flow) (e.g. Lundberg & Moberg, 2003; Bauer & Hoye, 2014).

The degree to which landscape traits facilitate or impede individuals in their spatial behaviour, the so-called 'functional connectivity', is of crucial importance (Kindlmann &

Burel, 2008). The ability for animals to move in a landscape is driven by the amount of their dispersal habitats, and their compositional and configurational heterogeneity (Fahrig *et al.*, 2011). Human footprint (e.g. impervious surfaces, intensive agriculture) can strongly affect animal movements (Tucker *et al.*, 2018). Specifically, animal movement can be reduced through barrier effects such as habitat change and fragmentation due to human infrastructures (e.g. Fahrig, 2007; Kamler *et al.*, 2012), or through enhanced resources (e.g. due to insects aggregation around streetlights) reducing movement requirements (e.g. Frange, Gelert, & Wiggers, 2004; Jones *et al.*, 2014).

Artificial light at night (ALAN) used for human needs (e.g. street and road lighting for movements) is a global threat (Koen *et al.*, 2018) that can strongly affect the

Animal Conservation • 2023 • • • © 2023 The Authors. Animal Conservation published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of Zoological Society of London. 1 This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

plus tolérantes, comme les pipistrelles ou certaines espèces d'espaces ouverts, réagissent différemment. En présence de lumière blanche et verte, elles augmentent leur activité près des lampadaires, attirées très probablement par les insectes qui s'y concentrent. Elles s'approchent donc volontiers des sources lumineuses, explorent la zone et parfois même chassent à proximité. La lumière rouge, souvent recommandée dans les aménagements pour sa moindre perturbation supposée, attire moins ces espèces, mais ne les dissuade pas totalement.

Cependant, un résultat majeur de l'étude apparaît lorsque l'on examine non pas la simple proximité des animaux avec la lampe, mais leur probabilité de traverser réellement la zone éclairée. Les espèces attirées ne franchissent pas pour autant la barrière lumineuse. Même les pipistrelles, pourtant très présentes autour des lampadaires, montrent une hésitation marquée lorsqu'il s'agit de traverser la zone lumineuse pour poursuivre leur trajet. Elles ralentissent, rebroussement chemin, ou s'engagent dans des détours imprévus, allongeant considérablement leur parcours. Cela signifie qu'un lampadaire peut jouer simultanément un rôle attractif (via la concentration d'insectes) et un rôle répulsif pour les déplacements (en créant une barrière lumineuse). La connectivité écologique se trouve ainsi compromise, non pas parce que les animaux disparaissent totalement de la zone, mais parce que leur déplacement n'est plus linéaire ni continu.

La lumière rouge, bien qu'un peu moins perturbatrice, ne résout pas le problème. Elle peut réduire légèrement l'attractivité ou l'intensité des réactions d'évitement, mais elle ne supprime pas l'effet-barrière. Les chauves-souris restent moins susceptibles de traverser une zone illuminée, même lorsque cette lumière est supposée « faiblement impactante ». L'idée que l'on pourrait simplement changer la couleur de la lumière pour « compenser » ses effets apparaît donc en grande partie illusoire à l'échelle des déplacements réels.

L'article insiste donc sur un point crucial : dans les corridors écologiques, la question centrale n'est pas seulement de limiter la mortalité directe ou la dérive comportementale, mais de préserver l'intégrité des routes de déplacement. Les chauves-souris utilisent ces corridors pour relier des zones de gîte, d'alimentation ou de reproduction. Tout obstacle qui ralentit, détourne ou fragmente ces trajets peut avoir des conséquences fonctionnelles sérieuses, en particulier pour les espèces les plus sensibles. Le coût énergétique accru, les risques accrus de prédation ou les difficultés à atteindre les zones de chasse peuvent, à long terme, affecter la survie des populations locales.

En conclusion, l'étude montre que la manipulation du spectre lumineux n'est pas une solution suffisante pour maintenir la connectivité des milieux utilisés par les chauves-souris. Blanc, vert ou rouge, la lumière modifie les déplacements, et l'effet-barrière persiste, même lorsque les intensités lumineuses sont faibles et même pour des espèces considérées comme tolérantes. Les auteurs recommandent donc que la priorité, dans les corridors écologiques, soit de ne pas éclairer, ou de réduire drastiquement l'intensité, la durée et l'emprise spatiale de l'éclairage lorsque son installation est jugée indispensable.

The effects of artificial light at night on behavioral rhythm and related gene expression are wavelength dependent in the oyster *Crassostrea gigas*

Les effets de la lumière artificielle nocturne sur le rythme comportemental et l'expression des gènes associés dépendent de la longueur d'onde chez l'huître *Crassostrea gigas*

Revue

Environmental Science and Pollution Research

Auteurs

A. Botté, L. Payton, & D. Tran

Institution d'affiliation du premier auteur

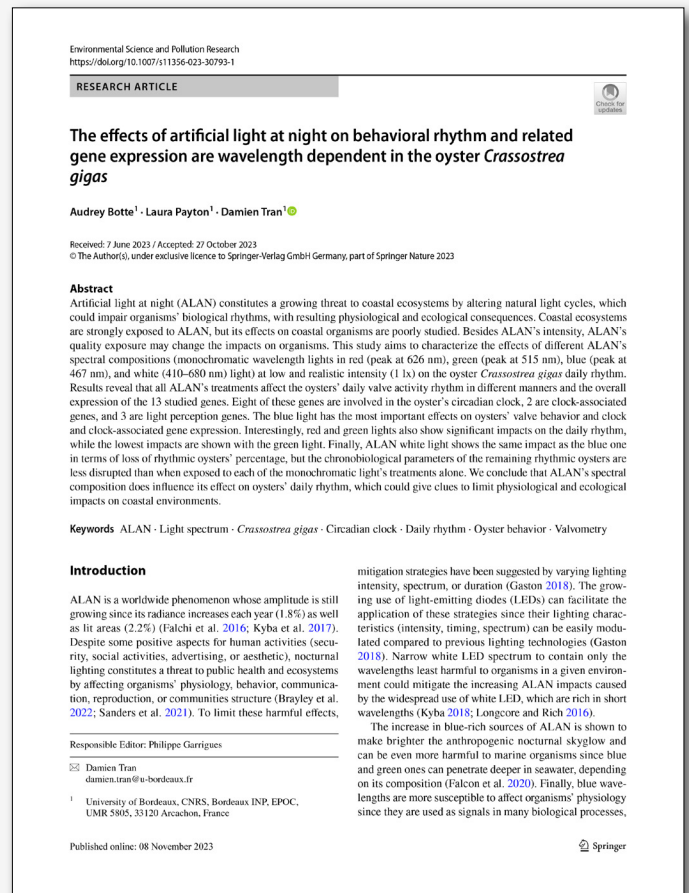
UMR CNRS 5805 EPOC Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux / Université de Bordeaux. Station Marine d'Arcachon, Place Peyneau, 33 120, Arcachon, France.

Résumé

L'article étudie de façon approfondie comment différentes couleurs de lumière artificielle nocturne perturbent les rythmes biologiques d'une espèce emblématique des zones côtières, l'huître *Crassostrea gigas*. Comme les littoraux sont fortement exposés à l'éclairage urbain et portuaire, les auteurs cherchent à déterminer quelles longueurs d'onde sont les plus dommageables pour les rythmes naturels de cette espèce, en particulier pour son cycle d'activité reposant sur l'ouverture et la fermeture des valves, véritable marqueur de son horloge interne. Des huîtres ont été exposées à des éclairages rouges, verts, bleus et blancs, tous calibrés à une intensité faible mais réaliste (1 lux). Le comportement quotidien des animaux a été enregistré en continu grâce à un dispositif de valvométrie très précis permettant de retracer les variations d'activité sur 24 heures. En parallèle, les auteurs ont examiné comment la lumière nocturne perturbait l'expression de gènes associés à l'horloge interne, à la perception de la lumière et à la régulation hormonale, sans chercher à détailler chaque mécanisme moléculaire mais en évaluant leur synchronisation globale.

Les résultats montrent que toutes les lumières nocturnes perturbent les rythmes journaliers, mais l'intensité de cette perturbation varie nettement selon la couleur. En condition naturelle (obscurité la nuit), les huîtres présentent un rythme bien marqué, avec une activité se concentrant le jour. Mais dès qu'une lumière est présente la nuit, ce rythme se désorganise : l'amplitude diminue, la régularité baisse et l'acrophase se décale. Avec la lumière bleue et, dans une moindre mesure, la lumière blanche, les effets sont particulièrement prononcés : une grande partie des individus voit son activité basculer vers la nuit, ce qui représente un renversement complet du rythme normal. La force du rythme diminue fortement, et la proportion d'animaux maintenant un cycle cohérent chute drastiquement.

Les éclairages rouges et surtout verts provoquent des perturbations moins marquées, même si le rythme n'est plus aussi clair et que certains individus perdent également leur



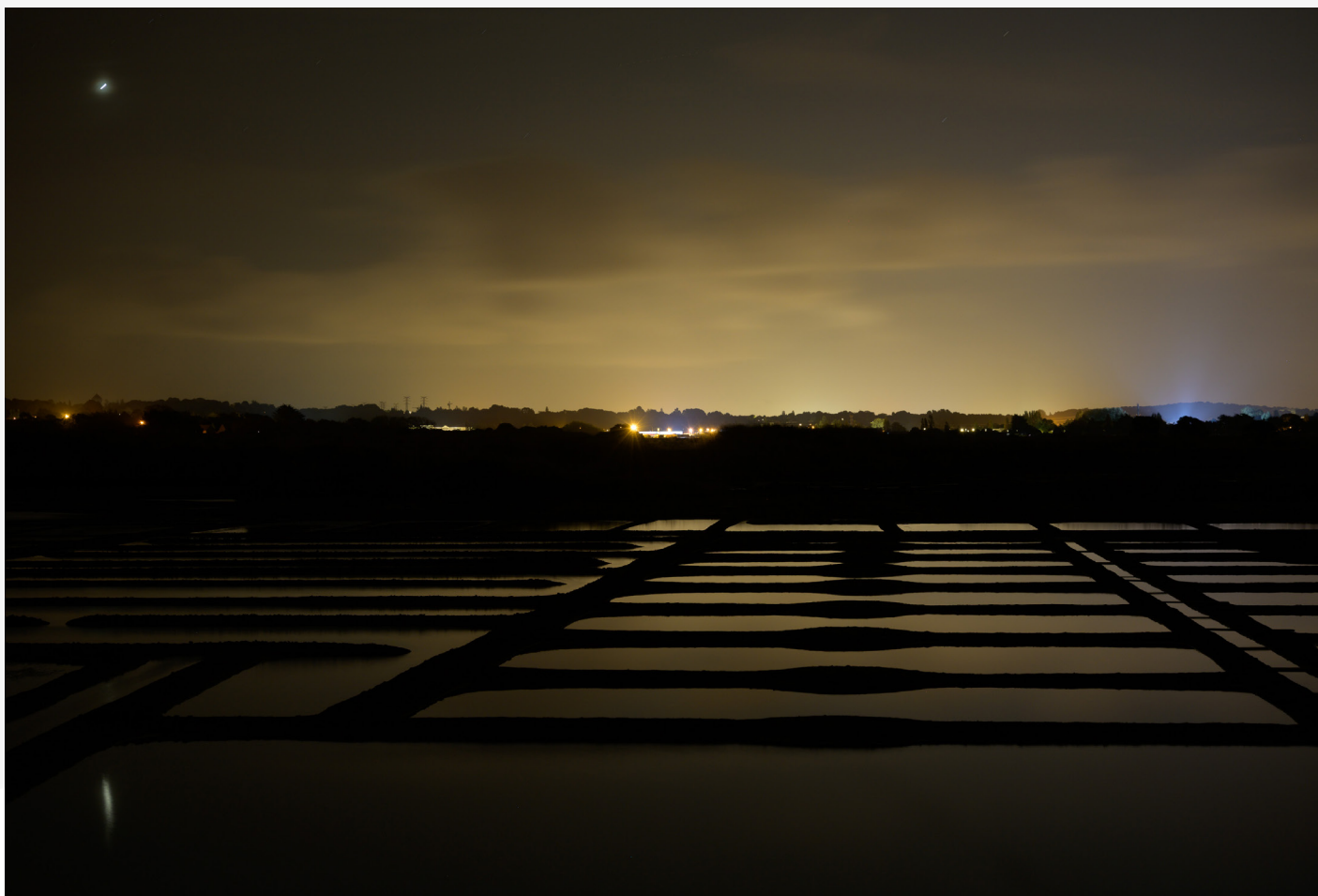
synchronisation. La lumière verte apparaît comme la moins perturbatrice dans ce contexte expérimental, ce qui est notable compte tenu du rôle prépondérant des longueurs d'onde bleues dans la désorganisation observée.

Sur le plan physiologique, la lumière nocturne entraîne aussi une désynchronisation globale de l'horloge interne : les cycles d'expression génétique associés à la régulation des rythmes jour/nuit s'atténuent voire disparaissent lorsque la lumière est présente la nuit, en particulier sous éclairage bleu et blanc. Autrement dit, la lumière artificielle empêche l'horloge biologique de fonctionner comme un oscillateur stable, ce qui peut avoir des répercussions sur de nombreuses fonctions essentielles (métabolisme, reproduction, croissance, résistance au stress).

L'étude montre donc clairement que la pollution lumineuse n'a pas seulement des effets comportementaux immédiats : elle s'attaque aussi aux mécanismes internes de synchronisation. Les auteurs en tirent une conclusion forte : toutes les lumières nocturnes ne se valent pas, et la composante bleue est de loin la plus perturbante pour *Crassostrea gigas*. À l'inverse, les longueurs d'onde vertes semblent beaucoup moins dommageables. Ces résultats suggèrent que les stratégies d'éclairage dans les zones littorales devraient intégrer la notion de spectre, et pas seulement l'intensité, afin de réduire l'impact sur les organismes marins.

En somme, l'article montre que *Crassostrea gigas* est hautement sensible à la lumière nocturne, que ses rythmes naturels peuvent être inversés ou effacés selon la couleur de l'éclairage, et que la gestion du spectre lumineux constitue un levier essentiel pour atténuer la pollution lumineuse dans les environnements côtiers.

* * *



Photographie : David Loose

The effects of light pollution on migratory animal behavior

Les effets de la pollution lumineuse sur le comportement des animaux migrateurs

Revue

Trends in Ecology & Evolution,
numéro spécial « Animal behaviour
in a changing world »

Auteurs

C.S. Burt, J.F. Kelly, G.E. Trankina, C.L.
Silva, A. Khalighifar, H.C. Jenkins-Smith,
A.S. Fox, K.M. Fristrup, & K.G. Horton.

Institution d'affiliation du premier auteur

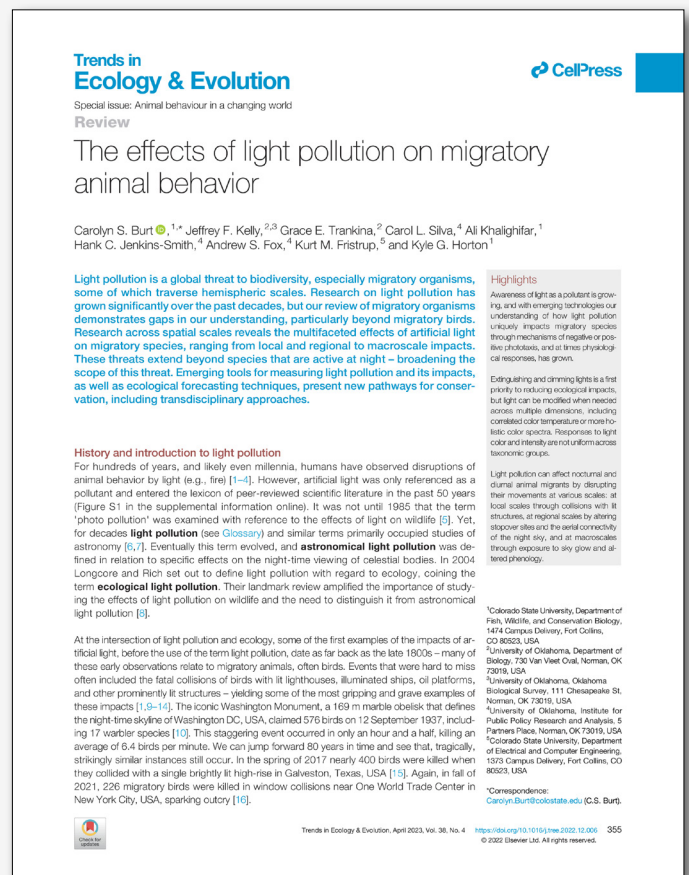
Colorado State University, Department
of Fish, Wildlife, and Conservation
Biology, 1474 Campus Delivery,
Fort Collins, CO 80523, USA.

Résumé

La lumière artificielle éclaire toujours plus intensément nos nuits, et cette transformation rapide du monde nocturne bouleverse profondément la vie des animaux migrants. Depuis plus d'un siècle, les humains constatent que les oiseaux sont attirés par les faisceaux lumineux et se heurtent en masse aux phares, gratte-ciel et autres structures éclairées. Ce phénomène demeure aujourd'hui d'une ampleur considérable : on estime qu'un milliard d'oiseaux pourraient mourir chaque année de collisions amplifiées par la lumière. Mais les oiseaux ne sont pas seuls concernés. De nombreux insectes, chauves-souris, tortues marines, poissons ou mammifères voient leurs déplacements perturbés, parfois détournés, parfois retardés, parfois interrompus.

L'article rappelle que la lumière pose problème à plusieurs échelles. Autour des bâtiments ou des tours émettant une lumière intense, les animaux tournent en rond, désorientés, jusqu'à l'épuisement ou la collision. Dans certaines villes nord-américaines, des milliers de carcasses d'oiseaux sont retrouvées chaque année au pied des façades vitrées. Certaines sources lumineuses créent des "pièges écologiques" visibles de très loin : la lueur d'une métropole attire par exemple des nuées d'insectes ou de migrants en pleine nuit, modifiant radicalement leurs trajectoires régionales. À grande échelle, les couloirs migratoires eux-mêmes sont désormais traversés par des halos lumineux gigantesques, visibles à des centaines de kilomètres et capables d'altérer l'orientation, les altitudes de vol ou encore les périodes de départ et d'arrivée.

Contrairement à une idée répandue, la lumière artificielle n'affecte pas seulement les animaux qui voyagent la nuit. Chez certaines espèces qui migrent le jour, une simple exposition aux lumières urbaines, parfois lors des haltes nocturnes, suffit à modifier leur horloge interne : des oiseaux diurnes partent plus tôt en migration, des papillons monarques



peuvent se mettre à voler la nuit, et les plantes dont ils dépendent lors de leur arrivée peuvent elles aussi voir leur calendrier décalé par la lumière nocturne.

Pour comprendre et mesurer ces effets, les chercheurs utilisent aujourd'hui des outils variés : capteurs de luminosité, caméras hémisphériques, spectromètres, satellites qui cartographient l'éclairement du globe nuit après nuit. Ces nouvelles techniques permettent aussi de développer des systèmes de prévision des migrations. Aux États-Unis et en Europe, des radars météorologiques sont utilisés pour anticiper les nuits où des millions d'oiseaux traverseront une région. Ces prévisions servent désormais à recommander l'extinction temporaire des lumières dans les zones les plus exposées.

Malgré les progrès, de grandes zones d'ombre subsistent : la majorité des études se concentre sur les oiseaux, et l'on sait encore peu de choses sur les conséquences physiologiques ou comportementales pour la plupart des autres espèces migratrices. Les chercheurs soulignent que la lumière artificielle interagit avec d'autres pressions majeures : pollution de l'air, bruit, artificialisation des milieux, changement climatique. Dans ce contexte, la lumière représente pourtant une rare forme de pollution dont l'atténuation peut être immédiate : il suffit d'éteindre, de réduire ou d'adapter l'éclairage.

L'article conclut que le défi n'est plus seulement scientifique. C'est un enjeu de société qui nécessite de nouvelles politiques publiques et une collaboration active entre chercheurs, collectivités, citoyens et décideurs. Comprendre comment traduire les connaissances scientifiques en actions concrètes est désormais aussi important que mesurer les effets mêmes de la lumière sur les migrations.



Photographie : David Loose

Artificial light at night (ALAN) causes shifts in soil communities and functions

L'éclairage artificiel nocturne entraîne des changements dans les communautés et les fonctions du sol

Revue

Philosophical Transactions of the Royal Society B (numéro thématique)

Auteurs

S. Cesarz, N. Eisenhauer, S.F. Bucher, M. Ciobanu, & J. Hines

Institution d'affiliation du premier auteur

German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), University of Leipzig Allemagne.

Résumé

Lorsque l'on pense à la pollution lumineuse, on imagine surtout ses effets sur les insectes attirés par les lampadaires ou sur les oiseaux désorientés par les halos urbains. Pourtant, cette étude montre que la lumière artificielle peut transformer en profondeur un monde que l'on voit peu : le sol. Sous nos pieds vit une immense diversité d'organismes – micro-champignons, bactéries, nématodes, racines – qui jouent un rôle essentiel dans la fertilité des terres, la qualité de la végétation et le stockage du carbone. Jusqu'ici, personne n'avait vraiment mesuré comment la lumière nocturne modifie ce système invisible mais vital.

Les chercheurs ont mené une expérience très contrôlée dans douze grandes chambres expérimentales où lumière, température, arrosage et cycles lunaires pouvaient être pilotés précisément. Certaines chambres recevaient une lumière de nuit très faible, d'autres une lumière proche de celle d'un lampadaire de rue. Pendant quatre mois et demi, ils ont observé l'évolution des plantes, de l'humidité du sol, de l'activité microbienne et des communautés de nématodes, un groupe d'animaux microscopiques particulièrement révélateurs de la santé des sols.

Les premiers effets de la lumière apparaissent sur les plantes. Lors de la période de croissance maximale, les plantes exposées à un éclairage nocturne fort produisaient moins de biomasse, signe probable d'un stress physiologique ou d'une perturbation de leur rythme naturel de photosynthèse. Ce simple changement se répercute immédiatement dans le sol, car les plantes influencent l'humidité, la température et la quantité de nutriments envoyés par les racines. Le sol éclairé artificiellement devenait plus sec, réduisant l'activité microbienne et la respiration du sol, c'est-à-dire sa capacité à recycler le carbone. Pourtant, les microbes restaient aussi nombreux, mais semblaient fonctionner différemment : ils utilisaient le carbone de manière plus "économe", une réponse typique à un stress environnemental. Du côté des nématodes, les effets sont plus nets encore. Les organismes qui se nourrissent des plantes devenaient plus abondants sous lumière artificielle, comme si les plantes affaiblies offraient un terrain plus facile pour ces petits consommateurs. Les com-



munautés de nématodes exposées à de fortes lumières devenaient également plus homogènes : elles se ressemblaient davantage d'une chambre expérimentale à l'autre, signe d'une perte de diversité fonctionnelle. Or, des communautés trop uniformes rendent les écosystèmes plus vulnérables aux perturbations, qu'il s'agisse de sécheresses, de parasites ou d'autres pollutions. La lumière artificielle agit donc comme un agent d'homogénéisation écologique, un phénomène déjà identifié comme une menace majeure pour la stabilité des milieux naturels

Au fil des semaines, ces modifications se propagent en cascade : plantes affaiblies, sol plus sec, microbes moins actifs, faune du sol remodelée. Et tout cela sans que le sol soit directement éclairé : les effets passent par les plantes, les microclimats et les interactions complexes entre organismes. En quelques mois seulement, le fonctionnement du sol commence à changer, ce qui laisse penser que des effets plus marqués pourraient apparaître sur le long terme

L'étude montre qu'il ne s'agit pas d'un simple détail écologique. Le sol est au cœur de la régulation du climat, de la production alimentaire et de la santé des écosystèmes. Si la lumière artificielle de nuit peut modifier la façon dont il respire, se renouvelle et résiste aux pressions, alors la pollution lumineuse touche bien plus que les animaux visibles du dessus : elle altère les fondations mêmes des milieux terrestres. Les auteurs insistent sur le fait que ces effets viennent s'ajouter à d'autres pressions environnementales – sécheresse, pesticides, changement climatique – qui agissent en même temps. Dans ce contexte, réduire la lumière inutile, orienter mieux les éclairages, limiter leur durée ou protéger certaines zones devient un moyen simple et efficace de préserver une biodiversité discrète mais indispensable. En montrant que les écosystèmes souterrains réagissent vite et profondément à la lumière artificielle, cette recherche élargit notre compréhension de la pollution lumineuse : ce n'est pas seulement une nuisance pour la faune nocturne, mais une perturbation majeure qui traverse les écosystèmes de haut en bas, jusque dans les sols où se construit l'équilibre du vivant.



Photographie : David Loose

Why flying insects gather at artificial light

Pourquoi les insectes volants
se rassemblent autour des
lumières artificielles

Revue

Nature Communications

Auteurs

S.T. Fabian, Y. Sondhi, P.E. Allen,
J.C. Theobald, & H.-T. Lin

Institution d'affiliation du premier auteur

Department of Bioengineering,
Imperial College London, London,
SW7 2AZ, Royaume-Uni.

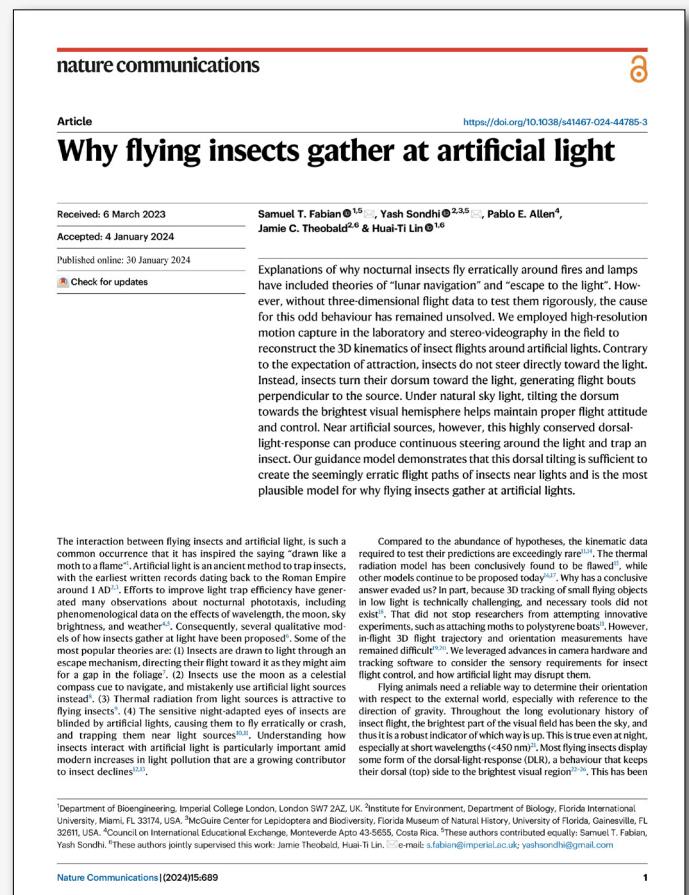
Résumé

Le rassemblement des insectes autour des lampes, des néons ou des feux de camp est si ancien et si universel qu'il a donné naissance à l'expression « attiré comme un papillon par la flamme ». Pourtant, malgré des siècles d'observations, la véritable raison de ce comportement étrange restait mal comprise. Ce nouvel article apporte une réponse claire grâce à un travail inédit : filmer et reconstruire en trois dimensions les trajectoires exactes d'insectes en vol, aussi bien en laboratoire qu'en pleine nature, à l'aide de caméras ultra-rapides et de systèmes de capture de mouvement capables de détecter le moindre battement d'aile.

Les résultats montrent que les insectes ne sont pas attirés vers les lampes comme on l'a longtemps cru. Ils ne volent presque jamais directement vers la source lumineuse. Au contraire, ils commencent à tourner autour, à monter brusquement, à se renverser ou à chuter, comme s'ils perdaient tout contrôle. Trois grands comportements se répètent dans les vidéos : l'« orbite », où l'insecte décrit des cercles serrés autour de la lampe ; le « décrochage », où il monte en piqué jusqu'à s'arrêter en l'air ; et l'« inversion », où il bascule sur le dos en passant au-dessus de la source lumineuse, avant de tomber. Ces motifs, visibles sur les trajectoires bleues superposées page 3 de l'article, sont pratiquement absents lorsqu'aucune lumière n'est allumée.

Pourquoi ces manœuvres étranges ? Les analyses montrent que les insectes tournent systématiquement le dos à la source lumineuse, comme si elle leur indiquait « le haut ». Ce réflexe ancestral, appelé *dorsal-light response*, fonctionne tant que la zone la plus lumineuse est le ciel. Mais près d'une lampe, ce repère devient brusquement très bas et très intense. L'insecte incline alors son corps vers la lumière : cette inclinaison déclenche mécaniquement un virage circulaire ou une ascension inefficace. Cette simple erreur d'interprétation suffit à expliquer l'ensemble des comportements observés, jusqu'aux chutes spectaculaires filmées au-dessus des lampes dirigées vers le sol (figure 4a).

Les expériences en laboratoire confirment ces observations. En fixant de minuscules marqueurs réfléchissants sur des libellules ou des papillons de nuit, les chercheurs mesurent



chaque angle du corps en vol. Les graphiques de la figure 3 montrent que la direction du dos correspond quasiment à l'axe de la lumière à un rapport de 1 pour 1. Autrement dit, les insectes ne visent pas la lampe : ils essaient simplement de garder leur dos face à elle. Sous un éclairage diffus se rapprochant du ciel naturel, ce comportement cesse immédiatement, et les insectes volent normalement. Même les plus petits insectes, testés dans un cube transparent éclairé par le dessus ou par le dessous, confirment ce mécanisme : avec la lumière au-dessus, ils s'élèvent de manière régulière ; avec la lumière en dessous, ils se renversent et s'écrasent. Seules quelques espèces — certaines drosophiles ou un sphinx particulier — semblent échapper à cette règle, pour des raisons encore inconnues.

Les scientifiques ont ensuite créé un modèle informatique basé uniquement sur cette inclinaison réflexe vers la lumière. Les simulations génèrent exactement les mêmes trajectoires erratiques : orbites, inversions, chutes. Même sans ajustement fin, un simple contrôle automatique orienté par la lumière suffit pour que l'agent numérique reste piégé autour du point lumineux, comme on le voit sur les diagrammes colorés de la figure 6. Aucune autre hypothèse classique ne reproduit ces motifs : ni l'idée d'un « phare » vers lequel les insectes fuiraient, ni celle d'une confusion avec la lune, ni même l'aveuglement par la lumière.

Cette étude renverse ainsi l'explication historique du comportement des insectes autour des lampes. Ils ne sont pas irrésistiblement attirés ; ils sont désorientés. Leur cerveau interprète la lumière artificielle comme un repère vertical, ce qui perturbe tout leur système de stabilisation. Plutôt que de s'échapper, ils tournent en boucle ou s'effondrent faute de pouvoir retrouver la bonne orientation. À une distance plus élevée, d'autres mécanismes peuvent jouer, mais à proximité immédiate, l'effet de basculement dorsal explique l'essentiel.

Ces résultats ont des implications importantes. Ils montrent qu'un simple lampadaire, en particulier s'il émet des UV ou de la lumière froide, peut déclencher une cascade de comportements dangereux pour une multitude d'espèces, de la libellule au papillon de nuit. Ils indiquent aussi comment réduire ces perturbations : éviter les sources ponctuelles non diffusées, orienter les lumières vers le bas, limiter les longueurs d'onde problématiques ou réduire les surfaces réfléchissantes au sol. En résumé, protéger les insectes implique de limiter l'empreinte du faux « ciel » que nos lampes créent dans la nuit.



Photographie : Samuel Challeat

Artificial light at night is a top predictor of bird migration stopover density

La lumière artificielle nocturne est l'un des meilleurs prédicteurs de la densité de halte migratoire des oiseaux

Revue

Nature Communications

Auteurs

K.G. Horton, J.J. Buler, S.J. Anderson, C.S. Burt, A.C. Collins, A.M. Dokter, F. Guo, D. Sheldon, M. Anna Tomaszewska, & G.M. Henebry

Institution d'affiliation du premier auteur

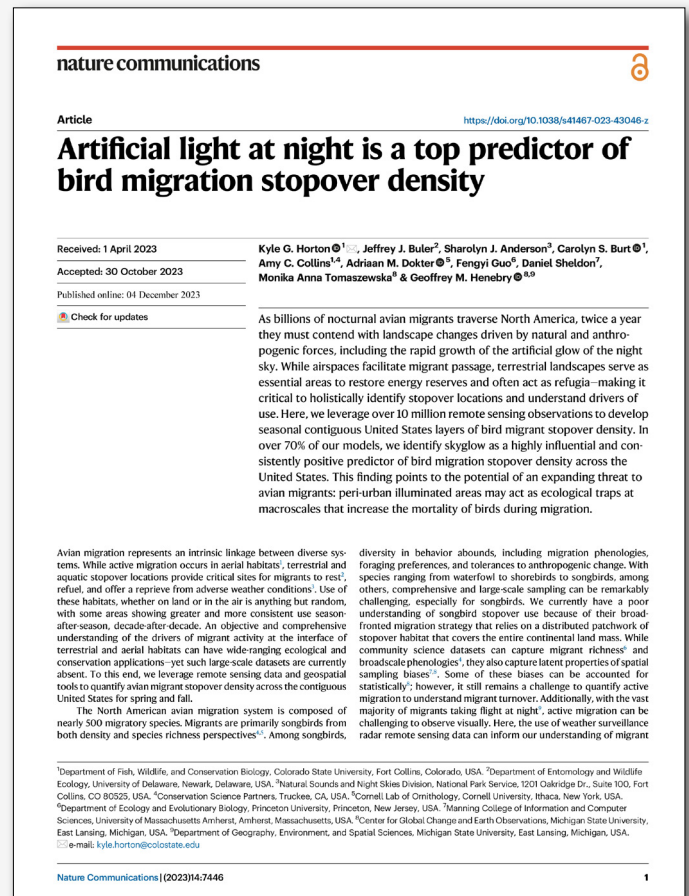
Department of Fish, Wildlife, and Conservation Biology, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.

Résumé

Chaque année, des milliards d'oiseaux migrent traversent l'Amérique du Nord en volant de nuit et en faisant escale de jour pour se reposer, se nourrir et éviter les conditions météorologiques défavorables. Jusqu'ici, les scientifiques savaient que certaines régions concentraient plus d'oiseaux en halte que d'autres, mais ils manquaient d'une vision d'ensemble : il n'existait aucune carte complète montrant, à l'échelle des États-Unis, où et pourquoi les oiseaux s'arrêtent pendant leurs migrations saisonnières. L'étude présentée comble cette lacune en exploitant plus de dix millions d'observations issues des radars météorologiques, combinées à une batterie impressionnante de données environnementales, climatiques et d'imagerie satellite. Cette approche permet de cartographier avec une finesse inégalée les points chauds de halte migratoire au printemps et en automne.

Les auteurs montrent que les zones de halte ne sont pas réparties au hasard : elles forment un vaste réseau de « pas japonais » écologiques que les oiseaux utilisent comme autant d'étapes indispensables. Dans ce réseau, la structure des paysages joue un rôle déterminant : les forêts, les zones humides et, plus largement, les habitats végétalisés ressortent comme des facteurs majeurs expliquant pourquoi certaines zones accueillent de fortes densités de migrants. Les analyses révèlent que la couverture forestière — mesurée via différents indices (canopée, types de forêts, complexité structurale) — est l'un des prédicteurs les plus réguliers et les plus puissants des haltes.

Mais l'un des résultats les plus marquants, et sans doute le plus surprenant, est la place qu'occupe la pollution lumineuse. Dans plus de 70 % des modèles saisonniers, les halos lumineux (le *skyglow*, c'est-à-dire l'éclairement diffus visible dans le ciel des zones urbanisées) figurent parmi les prédicteurs les plus influents de la densité de halte. Non seulement la lumière artificielle nocturne est associée à une densité accrue d'oiseaux en escale, mais cette association est remarquablement constante entre saisons et régions. En d'autres



termes, partout ou presque, les zones éclairées attirent davantage de migrateurs se posant durant la nuit ou au petit matin.

L'article met en garde contre une lecture trop optimiste de ce phénomène. Si certaines villes se trouvent effectivement à proximité d'habitats riches en ressources, d'autres zones éclairées n'offrent pas les conditions nécessaires pour un repos sûr ou un bon ravitaillement. Les oiseaux peuvent ainsi être attirés vers des régions où ils risquent davantage de collisions avec des bâtiments (une menace largement documentée), où les ressources alimentaires sont insuffisantes, ou encore où les perturbations anthropiques sont trop fortes. Les auteurs évoquent alors la possibilité de « pièges écologiques » créés à grande échelle, rendant certaines zones lumineuses particulièrement dangereuses en période migratoire.

Les cartes issues de l'étude montrent de fortes différences saisonnières. Au printemps, les densités d'oiseaux sont majoritairement concentrées dans la partie centrale des États-Unis, notamment au Texas, en Louisiane, en Oklahoma et en Arkansas. À l'automne, elles se déplacent vers le sud-est, avec des intensités particulièrement marquées en Alabama, en Géorgie et dans le Tennessee. Ce glissement géographique correspond aux grandes boucles migratoires suivies par de nombreuses espèces, qui ne reviennent pas par les mêmes trajets qu'à l'aller.

Les analyses montrent également que la densité de halte est globalement plus élevée à l'automne : plus de 70 % des pixels étudiés affichent des densités supérieures en automne qu'au printemps. Dans certains secteurs du pays, elle double même entre les deux saisons. Cette asymétrie saisonnière reflète le fait que la migration automnale implique souvent davantage d'oiseaux — adultes ayant réussi la reproduction, jeunes de l'année, et espèces partant parfois plus tardivement.

Pour comprendre ce qui détermine l'arrêt des oiseaux, les auteurs ont intégré près d'une cinquantaine de variables : végétation, couverture du sol, précipitations, température, altitude, humidité, structure forestière, distance au radar... et lumière nocturne. Grâce à des modèles d'apprentissage automatique, ils ont pu mesurer l'importance relative de chaque variable. Les graphiques en pages 2 à 4 de l'article montrent que l'altitude, les précipitations, la présence de forêts et surtout le *skyglow* dominant largement. À l'inverse, les zones très agricoles et les espaces très ouverts sont associés à une moindre densité de halte.

En révélant que la lumière artificielle nocturne est un déterminant aussi fort des haltes migratoires, cette étude souligne un enjeu majeur : la migration, déjà rendue périlleuse par le changement climatique, la fragmentation des habitats et la prédation, est désormais aussi perturbée par l'urbanisation lumineuse. Comme les halos urbains augmentent encore d'environ 10 % par an en Amérique du Nord, les chercheurs alertent sur une menace croissante. Réduire, orienter différemment ou adapter l'éclairage pourrait donc constituer un levier de conservation immédiat pour améliorer la sécurité des oiseaux migrateurs à l'échelle continentale.

En proposant les premières cartes continues des haltes migratoires pour les saisons de printemps et d'automne, l'étude fournit un outil de gestion inédit. Ces données permettent d'identifier les zones les plus cruciales pour la survie des migrateurs, de cibler des actions de protection, mais aussi d'anticiper les risques liés à l'éclairage urbain. Elles constituent une avancée majeure pour la conservation, illustrant de façon frappante la manière dont la lumière — une pollution souvent négligée — est en train de redessiner les routes migratoires du continent américain.

Effects of anthropogenic light on species and ecosystems

Effets de la lumière d'origine humaine sur les espèces et les écosystèmes

Revue

Science (numéro thématique)

Auteurs

A.K. Jägerbrand, & K. Spoelstra

Institution d'affiliation du premier auteur

Department of Electrical Engineering, Mathematics and Science, Faculty of Engineering and Sustainable Development, University of Gävle, 801 76 Gävle, Suède.

Résumé

La lumière artificielle fait aujourd'hui partie de presque tous les lieux où vivent des humains, et son intensité ne cesse d'augmenter à l'échelle mondiale. Cet article de synthèse montre que cette transformation lumineuse planétaire bouleverse profondément les espèces et les écosystèmes. La nuit naturelle, longtemps stable et prévisible, est désormais remplacée par une mosaïque de halos urbains, de routes éclairées, de façades illuminées et de lumières qui s'infiltrent jusque dans les zones les plus reculées. Les illustrations de la page 1, qui comparent un paysage préindustriel, l'Anthropocène actuel et deux futurs possibles, résument bien l'ampleur du basculement : là où régnait une obscurité presque totale, une multitude de faisceaux et de lueurs attire, repousse ou désoriente oiseaux, insectes et chauves-souris.

Les oiseaux comptent parmi les espèces les plus touchées. Beaucoup migrent de nuit et utilisent le ciel comme repère. L'article rappelle que, dans les zones sombres, même un unique point lumineux peut attirer des milliers d'individus. En mer, les jeunes pétrels ou puffins s'échouent en masse autour des villes littorales. Sur terre, les oiseaux sont désorientés par les gratte-ciel éclairés, les éclairages puissants d'infrastructures ou les projections lumineuses commémoratives, entraînant collisions, épuisement ou détournement de leurs routes migratoires. L'exposition à la lumière peut aussi dérégler leurs rythmes : avancement du chant matinal, stress accru, perturbation du sommeil, reproduction déclenchée trop tôt – des effets illustrés dans le schéma de la page 3 montrant comment la lumière du soir allonge artificiellement la « journée » des oiseaux.

Chez les mammifères, les réponses sont tout aussi variées. Les chauves-souris, très sensibles à la prédation, évitent souvent les zones éclairées, ce qui fragmente leurs corridors de déplacement, comme les lisières forestières ou les berges de rivières qu'elles utilisent habituellement pour se guider. Certaines espèces plus agiles profitent toutefois de l'accumulation d'insectes près des lampadaires. Les rongeurs et d'autres mammifères nocturnes, eux, réduisent leurs activités sous la lumière, comme ils le font lors des pleines lunes, ce qui modifie leurs comportements alimentaires, leur reproduction ou leurs déplacements.

Les insectes, quant à eux, sont peut-être les plus visiblement affectés. Comme l'explique la page 2, ils peuvent être attirés par des intensités lumineuses très faibles, surtout par



les composantes bleues des LED modernes. Leur vol en spirale autour des lampes peut entraîner épuisement, mortalité ou incapacité à se reproduire. Certaines espèces bioluminescentes, comme les lucioles, perdent leurs signaux de communication, ce qui réduit fortement le succès de reproduction. De nombreuses études montrent également que l'éclairage nocturne perturbe le développement des chenilles, modifie les communautés d'invertébrés ou empêche certaines espèces d'utiliser les repères lumineux naturels comme la polarisation de la lumière lunaire.

Les amphibiens et reptiles sont également touchés. Chez les crapauds, la lumière peut réduire l'activité, modifier les appels nuptiaux ou diminuer la fertilisation des œufs. Les tortues marines, dont les jeunes se dirigent normalement vers le horizon lumineux de la mer, se perdent facilement dans la clarté artificielle des hôtels ou des routes côtières. À l'inverse, certains reptiles diurnes, comme certains geckos ou anolis, tirent parti de la lumière artificielle pour chasser la nuit, bouleversant ainsi les rythmes habituels du milieu.

L'article consacre aussi une place importante aux milieux aquatiques. L'eau réfléchit fortement la lumière, ce qui amplifie sa propagation sur de grandes distances, comme autour des ports, des ponts ou des plateformes offshore. Les poissons peuvent alors être attirés, repoussés ou perturbés selon les espèces. Leur comportement alimentaire, leurs migrations, leur dépense énergétique et même le succès d'éclosion peuvent être modifiés par des intensités lumineuses faibles, bien inférieures à ce que perçoivent les humains.

Au-delà des espèces prises individuellement, la lumière modifie aussi les interactions écologiques. Elle peut favoriser certains prédateurs – par exemple les chauves-souris opportunistes ou les chouettes qui chassent plus facilement sous la lumière diffuse des villes. Les proies, elles, se déplacent différemment, évitent des zones pourtant favorables ou changent leurs horaires d'activité. La pollinisation nocturne, illustrée à la page 4, diminue fortement, obligeant les pollinisateurs diurnes à compenser. Ces effets en cascade modifient les réseaux trophiques et, à terme, les services écosystémiques.

Enfin, l'article explore les solutions. Les schémas de la page 5 présentent différents types d'éclairages (routiers, architecturaux, décoratifs, ponts, *skyglow*) et les mesures possibles : réduire la lumière inutile, limiter les émissions vers le haut, utiliser des optiques mieux dirigées, tamiser ou éteindre à certaines heures, adapter l'intensité en temps réel, ou choisir des spectres moins perturbants. Les auteurs insistent toutefois sur les limites des technologies actuelles : même les LED réglables continuent de produire du bleu, et même un éclairage parfaitement orienté finit par se réfléchir sur les surfaces. Surtout, il existe peu de seuils universels permettant de protéger l'ensemble des espèces, tant leurs sensibilités diffèrent.

Le texte conclut qu'aucune solution simple ne suffira. L'augmentation continue de la lumière artificielle, montrée dans les projections de la page 1, pourrait entraîner des déclin d'insectes toujours plus marqués, une fragmentation accrue des habitats nocturnes et des perturbations profondes des cycles biologiques. Pour limiter ces effets, il devient indispensable de restaurer des zones réellement sombres, de repenser entièrement les usages de la lumière, et dans certains cas, de réapprendre à éteindre. La sobriété lumineuse apparaît alors non seulement comme une mesure écologique, mais comme une nécessité pour préserver une partie fondamentale, mais fragile, du monde vivant.

Characterising diel activity patterns to design conservation measures: Case study of European bat species

Caractériser les rythmes d'activité quotidienne pour concevoir des mesures de conservation : étude de cas sur les chauves-souris européennes

Revue

Biological Conservation

Auteurs

L. Mariton, I. Le Viol, Y. Bas, & C. Kerbiriou

Institution d'affiliation du premier auteur

Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS, Sorbonne Université, CP 135, 57 rue Cuvier, 75 005 Paris ; Station de Biologie Marine, 1 place de la Croix, 29 900 Concarneau, France ; Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (IMPMC), Sorbonne Université, CNRS, MNHN, IRD, 61 rue Buffon, 75 005 Paris, France

Résumé

Les chauves-souris sont des animaux entièrement dépendants de la nuit pour chasser, se déplacer et communiquer. Pourtant, si leurs habitats et leurs routes de vol sont relativement bien connus, leurs rythmes d'activité au cours de la nuit restent bien moins étudiés. Cet article repose sur une démarche scientifique rare par son ampleur : plus de 9800 nuits d'enregistrement acoustique réparties sur 4409 sites partout en France, collectées grâce à un vaste programme de sciences participatives. Cette base de données exceptionnelle a permis aux chercheurs de décrire finement l'heure à laquelle chaque espèce commence à sortir, devient la plus active ou termine sa nuit, et d'observer comment ces rythmes varient au fil des saisons.

L'analyse révèle d'abord que les espèces de chauves-souris ne se ressemblent pas toutes dans leur façon d'utiliser la nuit. En étudiant les milliers de « passes » (séquences d'appels ultrasonores) enregistrées, les auteurs montrent que certaines espèces ont une forte activité juste après le coucher du soleil, puis présentent un second pic juste avant l'aube. D'autres attendent que l'obscurité soit totale pour émerger, avec une activité plus étalée et moins marquée. Les représentations graphiques de l'article, notamment celles de la page 5, illustrent ces différences : les courbes d'activité des noctules (*Nyctalus noctula*) dessinent deux bosses très nettes au début et à la fin de la nuit, tandis que le murin à moustaches ou le grand rhinolophe montrent une activité beaucoup plus uniforme.

En croisant ces formes d'activité, les chercheurs distinguent trois grands groupes fonctionnels. Le premier regroupe les espèces « crépusculaires », actives dès que la lumière décline, souvent rapides et agiles, capables de voler en terrain dégagé et donc moins exposées à la prédation. Viennent ensuite les espèces « tardives », à l'activité étalée mais débutant bien plus tard, souvent adeptes de milieux clos, de vols lents et précis, et sensibles à la lumière



ainsi qu'aux prédateurs. Enfin, un groupe « intermédiaire » adopte un fonctionnement entre ces deux extrêmes, avec des pics plus modérés mais une présence notable aux deux extrémités de la nuit.

La saison joue un rôle majeur : les profils d'activité restent globalement stables, mais leur intensité varie fortement. Les graphiques de la page 7 montrent que beaucoup d'espèces concentrent davantage leur activité en fin de nuit durant l'été, période correspondant à l'allaitement. Les femelles doivent alors accumuler un maximum d'énergie pour produire du lait, tout en revenant régulièrement au gîte pour nourrir leurs jeunes. À cette période, les nuits courtes les obligent aussi à exploiter chaque minute disponible, ce qui explique une activité accrue juste avant l'aube. À l'inverse, en automne, lorsque les jeunes sont émancipés, l'activité est souvent plus répartie et moins intense.

Ces résultats apportent un éclairage essentiel pour la conservation. Aujourd'hui, de nombreuses mesures cherchent à réduire les impacts des activités humaines sur les chauves-souris — extinction partielle des lumières publiques, adaptation de l'éclairage, limitation des éoliennes aux moments les plus sensibles, etc. Mais la plupart de ces dispositifs reposent sur des horaires arbitraires ou adaptés aux besoins humains plutôt qu'aux véritables rythmes biologiques des espèces. L'article montre clairement que de nombreux schémas d'extinction nocturne commencent trop tard pour certaines espèces, ou s'arrêtent trop tôt, laissant les chauves-souris exposées à la lumière dans leurs périodes clés d'activité.

En comprenant précisément à quel moment chaque espèce sort, atteint son maximum d'activité ou retourne au gîte, il devient possible de concevoir des politiques beaucoup plus efficaces. Les auteurs imaginent par exemple des extinctions ciblées dans les zones sensibles, démarrant bien avant minuit, ou des algorithmes de régulation d'éoliennes intégrant les heures d'activité des espèces les plus vulnérables. Les données présentées suggèrent également que la meilleure solution passe par une approche combinée : prendre en compte à la fois l'espace — où se trouvent les colonies, les couloirs de vol, les zones de chasse — et le temps — quand les animaux passent réellement.

En révélant l'extraordinaire diversité des rythmes nocturnes des chauves-souris et leur sensibilité aux variations saisonnières, cette étude souligne que protéger la nature ne consiste pas seulement à préserver des lieux, mais aussi à préserver des moments. La nuit n'est pas un bloc uniforme : elle est structurée par des comportements, des besoins, des échanges énergétiques et des risques très différents d'une heure à l'autre. En apprenant à connaître et respecter ces temporalités, la conservation peut faire un pas décisif vers une meilleure protection de ces espèces discrètes mais essentielles au fonctionnement des écosystèmes.

* * *

Dim light pollution prevents diapause induction in urban and rural moths

Une faible pollution lumineuse empêche l'induction de la diapause chez les papillons de nuit, qu'ils soient urbains ou ruraux

Revue

Journal of Applied Ecology

Auteurs

T. Merckx, M.E. Nielsen, T. Kankaanpää, T. Kadlec, M. Yazdani, & S.M. Kivelä

Institution d'affiliation du premier auteur

Biology Department, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgique ; Ecology and Genetics Research Unit, University of Oulu, Oulu, Finlande.

Résumé

Dans la plupart des régions tempérées, la survie hivernale des insectes dépend d'un mécanisme essentiel : la diapause. C'est une sorte d'hibernation déclenchée chez les larves quand les jours raccourcissent, un signal fiable annonçant l'arrivée de l'hiver. Or cette étude révèle que même une lumière artificielle extrêmement faible, comparable à celle du halo lumineux des villes visibles à des dizaines de kilomètres, suffit à perturber complètement ce mécanisme chez un papillon de nuit commun, *Chiasmia clathrata*. L'expérience menée par les chercheurs est d'une ampleur exceptionnelle : ils ont prélevé des populations dans plusieurs pays européens, en zones urbaines et rurales, puis ont élevé leurs descendants dans des conditions contrôlées, avec ou sans une très faible lumière nocturne reproduisant le *skyglow* (0,7 lux). Les images et cartes de la page 3 montrent la diversité des sites échantillonnés, allant d'Hel-sinki à Bruxelles, Prague ou Stockholm, illustrant le contraste entre zones sombres rurales et environnements urbains très éclairés.

Les résultats sont sans appel. Dès que les larves sont exposées à cette faible luminosité nocturne, elles interprètent la nuit comme trop courte, ou la journée comme trop longue. Conséquence immédiate : elles n'entrent plus en diapause et poursuivent leur développement, comme si l'hiver n'allait jamais arriver. Les graphiques de la page 6 (Figure 2) révèlent l'ampleur du phénomène : dans les populations d'Europe (Belgique et Tchèque), 100 % des individus exposés à cette lumière douce se développent directement sans jamais entrer en diapause. En Europe du Nord, l'effet reste spectaculaire, même s'il est un peu atténué, signe que ces populations sont déjà habituées à des nuits d'été naturellement très lumineuses. Cette différence latitudinale est une découverte majeure : elle signifie que les populations vivant sous des latitudes moyennes — là où se trouvent la majorité des grandes villes européennes et la majorité du *skyglow* mondial — sont les plus vulnérables.

L'étude montre également que cette sensibilité à la lumière artificielle touche autant les papillons issus de milieux urbains que ruraux. Contrairement à ce que l'on aurait pu imaginer, les populations urbaines n'ont pas évolué pour compenser la pollution lumineuse. Leurs réactions sont identiques à celles des populations rurales, malgré des années — voire des



décennies — d'exposition à des nuits artificiellement éclairées. Les auteurs y voient un signal inquiétant : la pression évolutive exercée par l'éclairage artificiel, même très faible, est si diffuse (car le halo lumineux s'étend sur des dizaines de kilomètres) qu'elle affecte simultanément toutes les populations, empêchant l'apparition de différences adaptatives.

Les conséquences écologiques de cette perturbation sont considérables. Si une chenille rate l'entrée en diapause, elle poursuit son développement trop tard dans la saison, alors qu'elle devrait se préparer à l'hiver. Elle arrive à un stade de développement qui n'est pas compatible avec le froid, s'épuise, et meurt avant le printemps. La page 1 de l'article rappelle d'ailleurs que la diminution des papillons de nuit est déjà massive en Europe : certaines populations de cette même espèce ont chuté de plus de 50 % en Finlande et de 85 % en Grande-Bretagne en quelques décennies. La lumière artificielle apparaît ici comme un facteur aggravant, voire déterminant, dans ces déclin.

Les auteurs notent aussi que l'exposition à la lumière réduit la durée de développement des larves et diminue légèrement la taille des chrysalides, effets qui pourraient encore réduire leurs chances de survie à long terme. Au-delà du cas de cette espèce, leurs résultats rejoignent un nombre croissant de travaux montrant que la lumière artificielle perturbe les cycles saisonniers de nombreux insectes : moustiques dont la diapause est supprimée, mouches dont le cycle reproducteur se dérègle, chenilles exposées trop tôt à des conditions risquées. L'ensemble dessine une image cohérente : la lumière artificielle n'affecte pas seulement les comportements nocturnes, elle modifie profondément le calendrier biologique des espèces.

L'étude se clôt sur un message clair. La pollution lumineuse n'est pas seulement une nuisance esthétique ni une menace pour quelques espèces sensibles. Une lumière faible, presque imperceptible pour l'œil humain, peut suffire à désynchroniser les cycles vitaux d'insectes communs, essentiels aux chaînes alimentaires et aux écosystèmes. Comme cette lumière diffuse touche aujourd'hui près d'un quart des terres émergées, selon les cartes mondiales du *skyglow*, elle pourrait être un facteur sous-estimé des déclin massifs d'insectes observés en Europe et ailleurs. Réduire l'intensité des éclairages, mieux les orienter, limiter leur diffusion et repenser notre rapport à la nuit pourraient ainsi offrir des bénéfices immédiats pour la biodiversité, bien au-delà des seuls espaces urbains.



Photographie : David Loose

How artificial light at night may rewire ecological networks: concepts and models

Comment la lumière artificielle nocturne peut reconfigurer les réseaux écologiques : concepts et modèles

Revue

Philosophical Transactions of the Royal Society B (numéro thématique)

Auteurs

D. Sanders, M.R. Hirt, U. Brose, D.M. Evans, K.J. Gaston, B. Gauzens, & R. Ryser

Institution d'affiliation du premier auteur

Environment and Sustainability Institute, University of Exeter, Penryn, Cornwall TR10 9FE, Royaume-Uni.

Résumé

Nous savons déjà que la lumière artificielle modifie les comportements d'une multitude d'espèces. Mais cet article montre quelque chose de plus profond : en bouleversant les horaires d'activité, les déplacements ou la survie d'espèces sensibles, la lumière nocturne peut restructurer l'ensemble des réseaux écologiques – c'est-à-dire les relations invisibles qui relient prédateurs, proies, plantes, pollinisateurs et décomposeurs. Le travail commence par une grande synthèse de la littérature : les auteurs rappellent que presque toutes les études publiées sur ce sujet datent des dix dernières années, signe d'un champ scientifique en pleine expansion. L'infographie de la page 2 (Figure 1) illustre bien cette explosion : une quarantaine d'études seulement existent, mais elles couvrent déjà plusieurs types de communautés — plantes et producteurs primaires, réseaux plantes-pollinisateurs, chaînes trophiques terrestres et aquatiques — avec des effets variés allant de la modification des traits à des réorganisations complètes des interactions.

L'article identifie quatre grandes voies par lesquelles la lumière artificielle transforme les communautés. La première concerne les plantes, à la base de toutes les chaînes alimentaires. Les expériences montrent que la lumière artificielle peut modifier la phénologie, la biomasse ou la structure des végétaux, affectant ensuite les insectes herbivores et les pollinisateurs. La seconde voie agit comme un filtre : certaines espèces ne supportent pas les nouvelles conditions lumineuses — notamment les strictement nocturnes, très sensibles à de faibles niveaux — et finissent par disparaître localement. À l'inverse, certaines espèces diurnes prolongent leur activité et semblent d'abord « bénéficier » de la lumière, jusqu'à ce que cette activité accrue entame leur condition physique.

La troisième voie touche la répartition des espèces. La lumière agit comme un aimant ou un répulsif : de nombreux insectes volants ou prédateurs arthropodes se concentrent autour des sources lumineuses, tandis que des chauves-souris ou des cougars évitent ces zones éclairées. Ces déplacements créent des zones où certaines espèces deviennent très abondantes et où d'autres disparaissent. Cela modifie les rencontres entre préda-



teurs et proies, parfois de façon spectaculaire. Certaines figures de la page 4 illustrent par exemple comment la présence de lumière peut augmenter la densité de proies dans des zones données, avec un impact direct sur la prédation nocturne et diurne.

La quatrième voie est peut-être la plus fondamentale : celle des rythmes d'activité. La lumière artificielle nocturne efface partiellement la frontière entre jour et nuit. Certaines espèces diurnes ou crépusculaires prolongent leurs activités très tard, alors que des espèces nocturnes se retirent ou réduisent leurs déplacements. Les exemples cités sont nombreux : des oiseaux chantent plus tôt, des parasitoïdes chassent la nuit sous éclairage blanc, certains poissons marins deviennent prédateurs nocturnes, des insectes fuient ou se laissent attirer par la lumière. Les graphiques de la page 3 (Figure 2) montrent bien la complexité de ces décalages et la manière dont ils modifient les niches temporelles, c'est-à-dire les moments où chaque espèce accomplit ses activités essentielles.

Pour comprendre les effets globaux de ces décalages, les auteurs ont ensuite développé un modèle simulant des réseaux trophiques entiers — 20 espèces de plantes et 40 espèces animales — avec des horaires d'activité diurnes, crépusculaires et nocturnes. L'idée est simple : un prédateur et une proie doivent être actifs au même moment pour interagir. Dès que la lumière artificielle fait basculer l'horaire d'une espèce, toutes les interactions autour d'elle peuvent changer. Les scénarios représentés dans les figures des pages 6 et 7 montrent comment un décalage même modeste peut défaire ou créer des liens trophiques, renforcer certaines relations ou en affaiblir d'autres. Par exemple, si des espèces crépusculaires décalent leur activité vers la nuit, elles rencontrent beaucoup plus d'espèces nocturnes et quasiment plus d'espèces diurnes. Le réseau se recompose alors autour de nouvelles interactions.

Les résultats sont frappants. Lorsque la lumière conduit à une homogénéisation des activités — autrement dit, quand plus d'espèces se retrouvent actives au même moment — la stabilité du réseau chute fortement. Le graphique de la page 8 (Figure 5) montre que ce scénario (le scénario 4, où espèces diurnes et crépusculaires se décalent vers la nuit) entraîne le plus haut taux d'extinction. À l'inverse, si la lumière pousse certaines espèces nocturnes à se décaler encore davantage dans la nuit, réduisant les chevauchements temporels, les réseaux deviennent un peu plus stables : moins d'interactions, moins de compétition, moins de prédation accrue.

L'étude montre donc que la lumière artificielle n'affecte pas seulement l'abondance des espèces ou leur comportement isolément. Elle peut réécrire la structure même des réseaux écologiques : qui mange qui, qui pollinise quoi, quelles espèces coexistent et lesquelles disparaissent. En modifiant les moments où les espèces se rencontrent, elle modifie les forces des liens trophiques et les équilibres subtils qui assurent la stabilité des communautés. À terme, ces changements peuvent entraîner une simplification des réseaux, une perte de biodiversité et un fonctionnement altéré des écosystèmes.

Enfin, l'article souligne que ces effets peuvent s'additionner à d'autres pressions, comme le changement climatique ou la fragmentation des habitats. La lumière artificielle peut, par exemple, accentuer les effets de nuits plus chaudes, en poussant encore davantage certaines espèces à devenir nocturnes. Les auteurs appellent donc à documenter beaucoup plus précisément les décalages d'activité au sein des communautés et à intégrer ces mécanismes dans les stratégies de gestion de la lumière. En conclusion, ils montrent que la pollution lumineuse n'est pas seulement une nuisance visuelle ou un stress isolé : c'est un facteur capable de reconfigurer en profondeur l'architecture de la vie nocturne, et donc le fonctionnement des écosystèmes entiers.



Photographie : David Loose



Photographie : Samuel Challeat

LES CONTRIBUTIONS MARQUANTES DANS LES CHAMPS DES SCIENCES DE LA SOCIÉTÉ ET DES SCIENCES DU TERRITOIRE

Night Landscapes: A Challenge to World Heritage Protocols

Les paysages nocturnes : un défi pour les protocoles du Patrimoine mondial

Revue

Landscape Review

Autrices

A. Loveridge, R. Duell, J. Abbari, & M. Moffatt

Institution d'affiliation du premier auteur

Department of Sociology, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch, Aotearoa, Nouvelle Zélande.

Résumé

L'article explore une idée encore récente dans le champ de la conservation : reconnaître le paysage nocturne comme un paysage à part entière, potentiellement éligible au Patrimoine mondial de l'UNESCO. Le Mackenzie Basin, au sud de la Nouvelle-Zélande — région montagneuse déjà classée réserve internationale de ciel étoilé — sert ici de cas d'étude. Il combine un ciel exceptionnel, des enjeux agricoles, un tourisme en pleine croissance et de fortes traditions culturelles, constituant un terrain idéal pour examiner comment les dispositifs du Patrimoine mondial pourraient intégrer ces paysages célestes mêlant nature, culture et science.

Les auteurs montrent que la notion de paysage nocturne bouscule les cadres de gestion habituels. Les outils du Patrimoine mondial ont été conçus pour des paysages terrestres, visibles le jour, alors que la qualité du ciel dépend de facteurs diffus : éclairage artificiel lointain, usages agricoles, villages, activités touristiques, observatoires astronomiques, mais aussi relations culturelles à la nuit. Le Mackenzie Basin illustre cette hybridité : un espace mêlant terres privées, zones protégées, observatoires, paysages glaciaires, biodiversité rare et traditions maories.

L'UNESCO n'a pas encore formalisé de critères pour reconnaître les paysages nocturnes, mais l'essor des réserves de ciel étoilé et des « fenêtres sur l'Univers » identifiées par l'Union astronomique internationale montre que cette évolution est proche. Les principes d'authenticité, d'intégrité et de valeur universelle exceptionnelle doivent donc être repen-

Night Landscapes: A Challenge to World Heritage Protocols

ALISON LOVERIDGE, REBECCA DUELL,
JULIE ABBARI AND MICHELLE MOFFAT

Starlight reserves are a relatively new concept whose definition and management protocols have come about in an era when understandings of human relationships with nature are dynamic and infused with cultural meaning. Rather than assuming that pristine nature can be sealed off from human influences, World Heritage guidelines now accept that our experience of nature may be enriched by attention to the multifunctional landscape, in which a blend of aesthetic, historical, cultural, scientific and environmental elements are carefully presented to tourists.

Observatories and clear night skies are ideal sites for such an interface, and the loss of dark skies has led to new systems of audit aimed at their preservation. This study of the potential for a World Heritage Site in the Mackenzie Basin, in the South Island of New Zealand, grounds the interaction between World Heritage goals and management of land use in a place where exceptional sky quality and competing land uses challenge multiple stakeholders to rethink their concepts of landscape.

Corresponding author:
Dr Alison Loveridge is a Lecturer in Sociology at the Department of Sociology, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch, Aotearoa New Zealand.
Telephone: +64-3-364-2981
Fax: +64-3-364-2977
Email: alison.loveridge@canterbury.ac.nz

Appreciation of landscape and outdoor activity forms the basis of tourism in the Mackenzie Basin (see Figure 1). Not only is the landscape important in its own right, but the golden tussock frames the first glimpse of Aoraki/Mount Cook for many of the over 300,000 visitors annually to the national park and Te Wāhipounamu World Heritage Site. While the Basin delights many travelling through the area, few are present at night. This number is increasing as a night landscape of stars complements the daytime 'big skies' of the Mackenzie Basin, which is well known for its sunsets, sunrises and cloud formations (Thompson, 2011, p. 162). This paper investigates how World Heritage certification might help with management of the night sky in the Basin. The World Heritage certification process encourages a holistic assessment of the landscape and requires conservation values, cultural values and development needs of local people to be addressed.

Current dark sky quality assurance schemes

International Dark-Sky Association (IDA) reserve certification has already been awarded to the Mackenzie Basin, one of four large areas designated internationally between 2008 and 2012 to have exceptional sky quality (International Dark-Sky Association, 2012).¹ The reserve's focal point is the Mount John observatory, which has required careful shielding from local lighting since the 1980s. While the three earlier reserves are either national parks or nature reserves, the Aoraki Mackenzie Dark Sky Reserve is a multifunctional area, partly conservation estate, partly Crown land and partly private land.

The IDA reserve status has encouraged visitors (Littlewood, 2013a) and will reinforce the importance of regulations that ensure local development must not

KEY WORDS
World Heritage Site
Multifunctional landscapes
Celestial tourism

REFLECTION

LANDSCAPE REVIEW 15(1) PAGES 64-75

64

sés : l'authenticité englobe à la fois la qualité scientifique du ciel et les liens culturels qui unissent les communautés à la voûte céleste ; l'intégrité renvoie à la protection d'un ciel sombre et étendu, nécessitant de larges zones tampons car la lumière se propage sur de grandes distances.

L'article détaille les défis de gestion : diversification agricole, irrigation, nouveaux lotissements, expansion touristique, pressions foncières. Les montagnes jouent un rôle de barrière contre la pollution lumineuse venue de la côte, mais cette protection reste fragile. Le développement urbain et touristique peut rapidement dégrader l'expérience du ciel, pourtant essentielle à l'économie locale — astrotourisme à Tekapo, observatoire du Mount John.

Les tensions autour de l'aménagement sont fréquentes. Le statut d'*Outstanding Natural Feature/Landscape*, attribué à presque toute la région, est contesté par certains agriculteurs en raison des restrictions qu'il implique. Les débats juridiques montrent combien la notion de « paysage exceptionnel » est un terrain de confrontation entre visions de la nature, intérêts économiques et conservation. Pour les auteurs, la réussite d'un éventuel site du Patrimoine mondial centré sur un paysage nocturne dépend d'une gouvernance véritablement partagée : autorités locales, agriculteurs, communautés maories, acteurs touristiques, scientifiques et services de conservation.

Enfin, l'article insiste sur la multifonctionnalité du Mackenzie Basin : préserver le paysage nocturne suppose de considérer les paysages terrestres, les pratiques humaines et les effets écologiques de la lumière. La pollution lumineuse menace biodiversité, esthétique nocturne et cultures locales. Ici, jour et nuit forment un continuum rendant possible, pour la première fois, l'idée d'un site du Patrimoine mondial combinant intimement nature terrestre, relations culturelles et qualité du ciel.

En conclusion, les paysages nocturnes pourraient devenir un nouveau champ majeur du Patrimoine mondial, exigeant de repenser les critères de valeur universelle exceptionnelle. Le Mackenzie Basin apparaît comme un territoire pionnier où le ciel étoilé, loin d'être un simple décor, devient un élément structurant de l'identité locale, du tourisme et de la conservation, ouvrant la voie à une nouvelle manière d'habiter les paysages, sous le soleil comme sous les étoiles.



Photographie : David Loose

Regulating light pollution: More than just the night sky

Réguler la pollution lumineuse :
bien plus que le ciel étoilé

Revue

Science (numéro thématique)

Auteur

M. Morgan-Taylor

Institution d'affiliation du premier auteur

Leicester De Montfort Law School, De
Montfort University, Leicester, Royaume-Uni.

Résumé

L'article défend une idée centrale : la pollution lumineuse n'est pas qu'un problème pour les astronomes. C'est une pollution à part entière, aux effets multiples — sanitaires, écologiques, énergétiques et climatiques — et pourtant encore traitée dans le débat public comme une simple perte de nuit étoilée. Cette perception biaisée explique en partie pourquoi tant de gouvernements tardent à réguler efficacement l'éclairage nocturne, malgré l'accumulation de preuves scientifiques montrant l'ampleur des dommages. Dès les premières lignes, l'auteur rappelle que la lumière artificielle à la nuit (ALAN) contribue au gaspillage énergétique, aggrave l'urgence climatique, perturbe le sommeil, nuit à la santé humaine, déstabilise les écosystèmes et affecte d'innombrables espèces. Mais dans les médias, elle est encore trop souvent présentée comme un enjeu secondaire, réservé aux amateurs de ciel profond.

L'article examine ensuite les différents types de réglementations existantes dans le monde. Certaines relèvent du « *hard law* », des lois contraignantes votées au niveau national ou supranational ; d'autres prennent la forme de recommandations non obligatoires (« *soft law* »). Certaines juridictions construisent des lois spécifiquement dédiées à la lumière nocturne, tandis que d'autres « greffent » quelques règles sur des textes existants — une méthode souvent plus rapide, mais moins efficace. L'efficacité de toute réglementation dépend toutefois de sa mise en œuvre : il faut des moyens, des contrôles, une vraie volonté politique et une compréhension claire du public des dommages causés par la lumière.

L'auteur passe en revue plusieurs exemples internationaux. Sur le plan supranational, les Nations Unies ont récemment publié des lignes directrices pour protéger les oiseaux et les chauves-souris. Au niveau européen, la pollution lumineuse est désormais mentionnée dans plusieurs initiatives du *Green Deal*, comme le Plan d'action zéro pollution, ou encore dans la nouvelle stratégie pour les pollinisateurs. Pourtant, malgré ces signaux positifs, les avancées restent lentes.

La France est présentée comme l'un des pays les plus ambitieux. Son arrêté de 2018 couvre un spectre très large d'enjeux — humains, écologiques, astronomiques — et impose des règles claires : couvre-feux lumineux, limitations strictes de la lumière bleue (2400 à 3000 K), interdiction de lasers puissants, réduction de l'éblouissement, limitation de la lumière intrusive dans les habitations, et protection renforcée de onze zones astronomiques



sensibles. L'article insiste sur le caractère exemplaire de cet arrêté, notamment parce qu'il s'appuie sur les connaissances scientifiques et parce qu'il inclut aussi les particuliers, souvent oubliés dans les réglementations.

La République de Corée est l'autre exemple marquant, avec une loi centrée sur l'énergie et les nuisances lumineuses, basée sur des standards techniques mesurables (les zones E1 à E4 définies par la CIE). Ce système, très transparent, permet à chacun de vérifier si une installation dépasse les seuils autorisés. Il facilite ainsi les contrôles tout en réduisant les conflits. Les autorités locales peuvent imposer des amendes, ce qui renforce l'efficacité du dispositif, même si cette approche métrique ne s'accompagne pas encore de mesures préventives concernant la vente ou la conception des luminaires.

Le Royaume-Uni, en revanche, a opté pour une stratégie « à l'économie », en ajoutant des considérations lumineuses dans deux cadres existants : l'urbanisme et les nuisances. Ce choix, bien qu'immédiat et peu coûteux, montre très vite ses limites : il ne concerne que les nouveaux bâtiments, s'intéresse davantage à l'apparence des luminaires qu'à leurs impacts environnementaux, et ignore totalement les problèmes écologiques ou de santé liés à la lumière nocturne. L'auteur explique pourquoi ce type d'approche, trop étroit, ne peut lutter efficacement contre une pollution aussi diffuse.

La dernière partie de l'article explore les raisons, souvent émotionnelles, qui freinent la régulation. Beaucoup de citoyens associent spontanément lumière et sécurité, pensent que « plus de lumière » réduit le crime, ou perçoivent toute restriction comme une atteinte à leur liberté. Les peurs liées à l'obscurité jouent aussi un rôle puissant. De telles croyances, même infondées scientifiquement, façonnent les décisions politiques et rendent les mesures de sobriété lumineuse difficiles à faire accepter. L'article souligne d'ailleurs que de nombreuses zones labellisées « ciel étoilé » ont contribué à entretenir un malentendu : la protection du ciel serait réservée à quelques espaces éloignés, alors qu'elle devrait aussi concerner les villes, où vivent la majorité des gens.

Pour sortir de cette impasse, l'auteur recommande de changer de discours : plutôt que de parler uniquement du ciel étoilé, il faut mettre en avant les coûts énergétiques, le lien avec le climat, les effets sur la santé humaine, les conséquences pour la biodiversité et la possibilité de mieux concilier sécurité et efficacité sans augmenter la luminosité. L'exemple de Calgary, qui a réduit sa pollution lumineuse tout en économisant des millions de dollars par an grâce à des luminaires mieux conçus, est présenté comme une démonstration claire des bénéfices d'une approche rationnelle.

L'article conclut qu'une régulation efficace doit combiner législation, prévention, bonnes pratiques de conception, éducation et participation des acteurs locaux. Il plaide pour une approche moins émotionnelle et plus fondée sur les preuves scientifiques. En montrant que la lumière artificielle touche directement la santé, l'environnement, le climat et l'économie, l'auteur défend une idée simple : protéger la nuit ne consiste pas à « éteindre pour observer les étoiles », mais à redéfinir ce que signifie un éclairage réellement utile, mesuré, sûr et adapté. Autrement dit : fournir la bonne lumière, au bon endroit, au bon moment — et seulement quand c'est nécessaire.

Safeguarding Indigenous Sky Rights from Colonial Exploitation

Protéger les droits célestes autochtones face à l'exploitation coloniale

Revue

Chapitre de l'ouvrage *The Routledge Handbook of Social Studies of Outer Space*

Auteurs

K.A. Noon, K. De Napoli, P. Swanton, C. Guedes, & D. Hamacher

Institution d'affiliation du premier auteur

Research School of Astronomy & Astrophysics, Australian National University, Canberra, Australie.

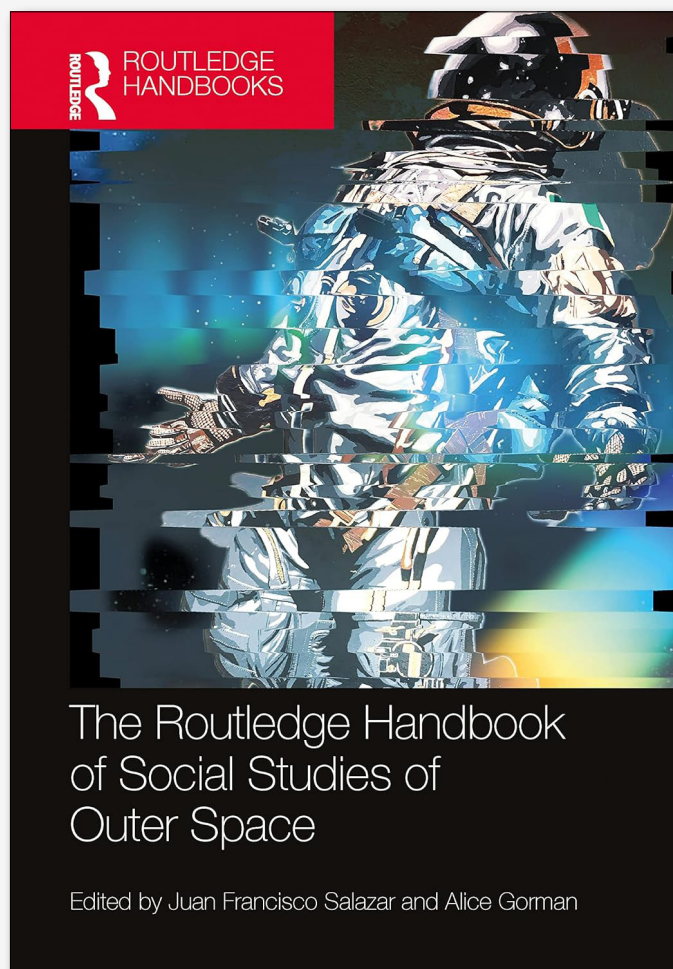
Résumé

Depuis toujours, les peuples autochtones entretiennent une relation intime avec le ciel nocturne. Pour eux, les étoiles ne sont pas seulement des objets lointains : elles sont des ancêtres, des guides, des archives vivantes de la mémoire culturelle, des marqueurs d'identité et des repères essentiels pour l'orientation, l'agriculture, la navigation, les cycles de vie et les récits de création. Le chapitre montre que ces « droits célestes » — un concept encore émergent — constituent un élément fondamental des droits territoriaux, culturels et spirituels des communautés autochtones.

Mais cette relation millénaire est aujourd'hui menacée. Les auteurs mettent en évidence comment l'exploitation coloniale — historiquement centrée sur la terre et la mer — s'étend désormais au ciel et à l'espace. L'urbanisation galopante, l'intensification de la pollution lumineuse, l'industrialisation du ciel nocturne par les méga-constellations de satellites, et la course commerciale vers l'exploitation spatiale altèrent profondément la capacité des peuples autochtones à voir et à pratiquer leur ciel.

Le chapitre souligne que l'obscurité naturelle n'est pas un simple luxe esthétique : elle est indispensable à la transmission des savoirs. Dans de nombreuses cultures, la lecture des étoiles structure la compréhension du monde et rythme la vie collective ; elle relie les générations et façonne des systèmes de connaissances sophistiqués. Avec la disparition progressive des ciels étoilés, ce sont des pans entiers d'héritages culturels qui deviennent inaccessibles, et parfois incompréhensibles, pour les jeunes générations. Les auteurs insistent sur un point crucial : la perte de ciel est une perte de langue, de mémoire et de souveraineté culturelle.

Parallèlement, la multiplication rapide des satellites — souvent lancés par de grandes entreprises privées ou des puissances étatiques — introduit une nouvelle forme de colonialisme : un « colonialisme orbital ». Ces objets artificiels, visibles à l'œil nu, interrompent les observations traditionnelles, brisent des lignes de vision ancestrales, parasitent les pratiques cérémonielles et scientifiques locales, et réaffirment une logique de domination



technologique. Les auteurs soulignent que cette occupation du ciel se fait sans consultation véritable des peuples autochtones, sans consentement préalable, libre et éclairé, et sans gouvernance partagée.

À cela s'ajoute une inquiétude plus profonde : la colonisation de l'espace risque de reproduire dans le cosmos les injustices historiques perpétrées sur Terre. Les communautés autochtones et marginalisées, dont les territoires sont souvent ciblés pour l'installation d'observatoires, de centres de lancement ou d'infrastructures technologiques, subissent déjà de lourds impacts socio-environnementaux. Des montagnes sacrées transformées en plateformes scientifiques aux territoires réquisitionnés au nom du « progrès », les auteurs rappellent que le passé colonial se rejoue dans les politiques spatiales contemporaines, sous des formes parfois subtiles mais toujours asymétriques.

Face à ces menaces, le chapitre appelle à reconnaître et protéger les « *sky rights* » autochtones comme une dimension essentielle des droits humains, de la justice épistémique et de la souveraineté des peuples. Cela implique de préserver des ciels réellement sombres, de limiter la prolifération des satellites visibles, de protéger les territoires autochtones contre les projets industriels imposés, et de veiller à ce que les avancées spatiales ne se fassent pas aux dépens des populations déjà historiquement marginalisées.

Les auteurs proposent finalement une vision plus juste et durable de notre relation au cosmos : une approche où les savoirs autochtones — loin d'être folklorisés — jouent un rôle central dans la gouvernance du ciel et de l'espace ; où la préservation de l'obscurité est considérée comme un patrimoine commun, culturel et écologique ; et où l'exploration spatiale se déroule dans le respect de la diversité des cosmologies humaines.

Ce chapitre invite à repenser profondément la manière dont nos sociétés « possèdent », utilisent et modifient le ciel. Il montre que sauvegarder les droits célestes autochtones, ce n'est pas seulement protéger des valeurs culturelles locales : c'est défendre une vision plurielle, éthique et partagée de notre place dans l'Univers.



Photographie : Samuel Challeat

Using Giant Floor Maps to Understand the Heavy Consequences of Light Pollution

Utiliser des cartes géantes au sol pour comprendre les lourdes conséquences de la pollution lumineuse

Revue

The Geography Teacher

Auteurs

B. Palczynsky, & J.S. Greene

Institution d'affiliation du premier auteur

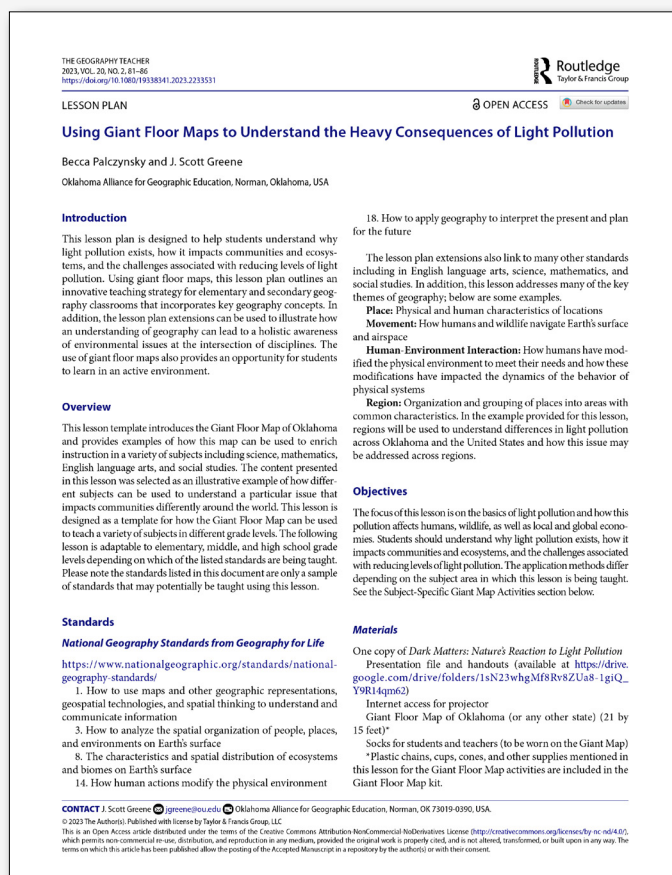
Oklahoma alliance for Geographic education, Norman, oklahoma, USA.

Résumé

Cet article présente une manière originale et résolument ludique d'aborder la pollution lumineuse : faire apprendre aux élèves en marchant littéralement sur le territoire. En utilisant d'immenses cartes au sol — comme celle de l'Oklahoma, longue de plusieurs mètres — les enseignants transforment la salle de classe en un espace d'exploration immersive. L'objectif est d'aider les élèves, du primaire au lycée, à comprendre pourquoi la pollution lumineuse existe, comment elle affecte les humains, la faune et les écosystèmes, et pourquoi il est si difficile de la réduire. Dès les premières pages, les auteurs expliquent que cette approche vise à décloisonner les disciplines : géographie, sciences, mathématiques, histoire ou encore anglais peuvent toutes contribuer à éclairer différents aspects de ce problème environnemental croissant.

L'activité débute par la lecture du livre *Dark Matters: Nature's Reaction to Light Pollution*, qui introduit aux élèves les bases de la lumière artificielle nocturne et ses impacts. Une discussion s'ouvre ensuite, montrant que beaucoup d'enfants ignorent l'existence même de la pollution lumineuse, ou n'en perçoivent que les effets les plus visibles, comme l'impossibilité d'observer la Voie lactée. Les enseignants présentent ensuite une courte leçon sur les impacts de la lumière artificielle : troubles du sommeil humain, perturbation des cycles biologiques des animaux, gaspillage énergétique et transformation des paysages nocturnes. Cette première séance prépare les élèves à comprendre ce qu'ils vont visualiser physiquement sur la carte géante.

Lors de la séance suivante, la carte de 21 mètres carrés est déployée au sol — un moment très visuel, illustré par les photos de la page 3 qui montrent des élèves déambulant dessus comme sur un terrain de jeu. Avant de parler de lumière, les enseignants invitent les élèves à redécouvrir les bases de la cartographie : orientation, symboles, distances, représentation des villes et des reliefs. Une fois ces repères posés, l'exercice clé commence. Les élèves observent une carte de la pollution lumineuse de l'Oklahoma et marquent sur la carte géante, à l'aide de cônes ou de petits objets colorés, les zones où le halo lumineux est le plus intense. Ils remarquent rapidement que les zones les plus éclairées correspondent aux grandes villes, ce qui permet de comprendre que la pollution lumineuse augmente avec la densité de population. Mais la carte révèle aussi des surprises : certaines petites



viles, comme Woodward ou Cushing, sont étonnamment lumineuses. Le texte de la page 5 éclaire ce point : ce sont des centres de l'industrie pétrolière et gazière, dont les installations sont puissamment éclairées la nuit.

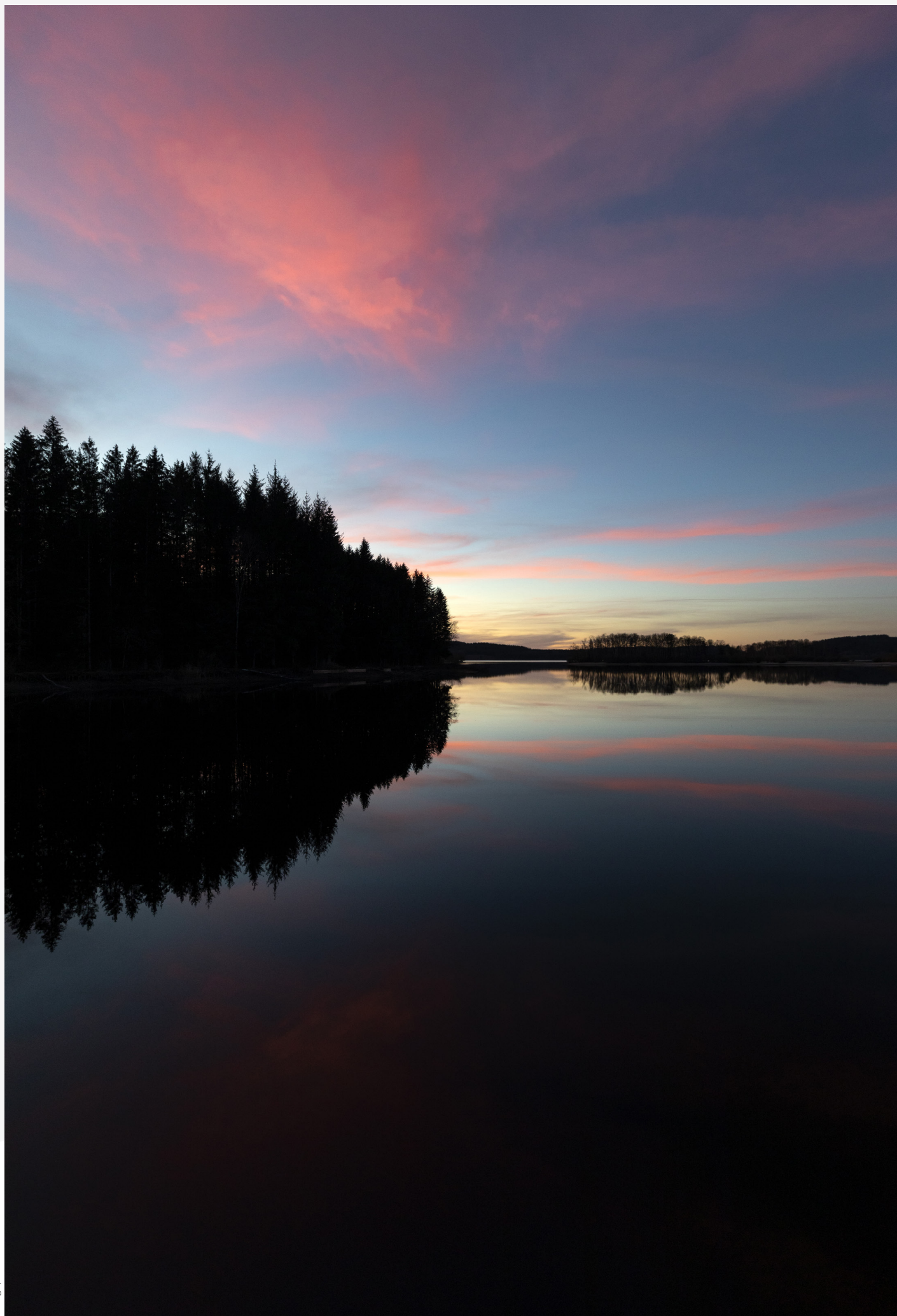
L'exercice devient ensuite plus riche encore lorsque les enseignants ajoutent aux cartes les grandes routes de migration du papillon monarque, matérialisées par de longues chaînes en plastique déroulées sur la carte (voir page 5). Les élèves découvrent alors que les chemins migratoires de ces insectes traversent précisément les zones les plus lumineuses du territoire. Une fois l'identité des chaînes révélée, la discussion porte sur la manière dont la lumière artificielle perturbe l'orientation des monarques, qui utilisent la lumière naturelle et le champ magnétique terrestre pour voyager sur des milliers de kilomètres. La lumière nocturne peut les désorienter, les détourner de leur route ou les épuiser — un risque sérieux pour une espèce déjà en difficulté. Les auteurs citent des recherches indiquant que l'exposition à la lumière artificielle peut décaler leur horloge interne ou empêcher leur migration correcte.

Selon la discipline enseignée, les activités se déclinent ensuite de différentes manières : orthographe et vocabulaire liés à l'environnement, exercices de mathématiques basés sur les distances parcourues par les monarques, réflexion en sciences sociales sur les conflits d'intérêts entre astronomes, élus, écologistes et citoyens. La page 6, qui décrit par exemple une activité de mathématiques, montre comment les élèves apprennent à mesurer, collecter et analyser des données tout en manipulant la carte. En sciences sociales, les élèves prennent le rôle d'acteurs confrontés au dilemme de la régulation de l'éclairage public, mettant en lumière la complexité politique du sujet.

La conclusion insiste sur le caractère profondément interdisciplinaire de la pollution lumineuse. Le phénomène n'est pas seulement écologique ou esthétique : il touche les économies locales, la qualité de vie, la mobilisation citoyenne, la sécurité, la santé et l'organisation des territoires. L'article en fait un outil pédagogique puissant : voir la pollution lumineuse, marcher à l'intérieur de ses gradients géographiques, comprendre comment elle interfère avec la faune migratrice, débattre de ses causes et de ses solutions rend les élèves acteurs de leur apprentissage. En transformant l'espace de la classe et en invitant les enfants à « lire » le territoire avec leurs pieds autant qu'avec leurs yeux, cette approche donne toute sa force à l'idée que la géographie est une science vivante, concrète, qui permet de comprendre le monde et d'imaginer des solutions.

L'article se conclut sur une conviction : réduire la pollution lumineuse passe autant par des politiques publiques que par l'éducation. Faire découvrir aux jeunes que la lumière peut être une pollution, et non seulement un symbole de progrès, constitue déjà un geste essentiel pour construire une culture de la nuit plus respectueuse des humains, des écosystèmes et du ciel étoilé.

* * *



Photographie : Samuel Challeat



LES THÈSES DE DOCTORAT

Impact de la pollution lumineuse nocturne sur l'huître creuse *Crassostrea gigas* : étude de la perturbation des rythmes biologiques et des conséquences physiologiques

Université de Bordeaux

Autrice

A. Botté

Sous la direction de

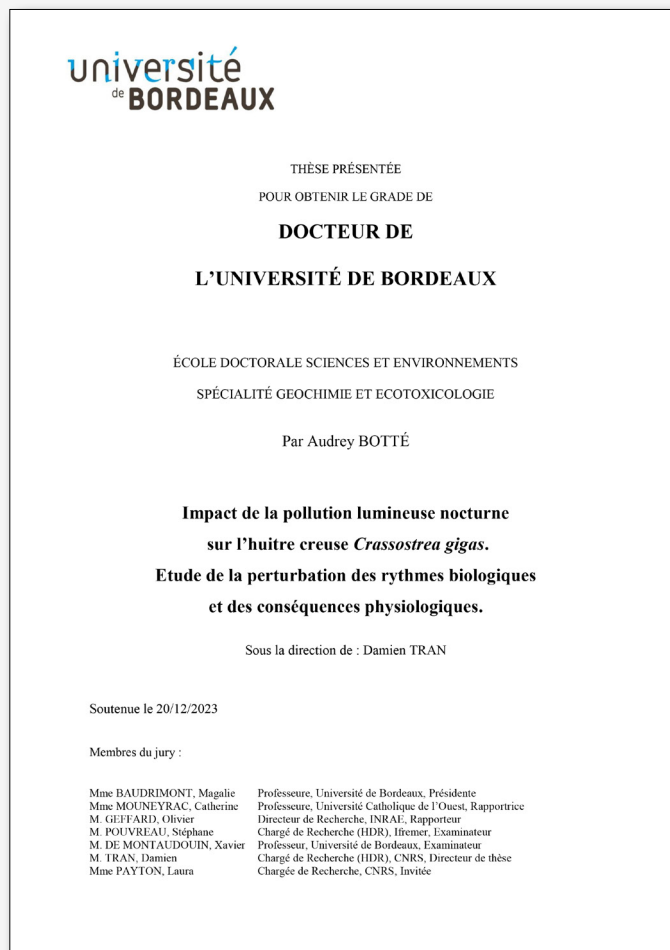
D. Tran, UMR CNRS 5805
EPOC Environnements et
Paléoenvironnements Océaniques et
Continentaux / Université de Bordeaux.
Station Marine d'Arcachon, Place
Peyneau, 33 120, Arcachon, France.

Résumé & apports significatifs

La lumière artificielle nocturne (ALAN) masque les cycles naturels lumineux utilisés par les organismes pour synchroniser leurs rythmes biologiques avec l'environnement. En perturbant ces rythmes, l'ALAN peut avoir de graves conséquences physiologiques. L'ALAN touche fortement les environnements côtiers du fait de l'importante et croissante densité de population humaine.

Cependant, malgré cette menace grandissante, les effets de l'ALAN sur ces écosystèmes sont peu étudiés. L'huître *Crassostrea gigas* est une espèce clé des environnements côtiers susceptible d'être exposée à l'ALAN. Ce travail évalue les effets de l'ALAN à des intensités faibles et réalistes sur le rythme journalier comportemental et l'horloge interne de l'huître en fonction de l'intensité, de la composition spectrale et de la modalité d'exposition. Par ailleurs, est aussi étudié l'impact de l'ALAN sur la croissance coquillière et le microbiote branchial de l'huître. Les résultats indiquent que l'ALAN affecte le rythme journalier comportemental de *Crassostrea gigas* et son horloge moléculaire dès 0.1 lx avec les effets les plus forts en lumière bleue et les moins forts en lumière verte. De plus, cette étude suggère que couper les éclairages directs en milieu de nuit mais en présence d'éclairage indirect (« skyglow ») peut aggraver certains effets néfastes. Enfin, l'ALAN diminue la croissance coquillière et entraîne une dysbiose du microbiote branchial. Ces effets sont directement corrélés à la robustesse du rythme journalier.

Cette thèse apporte des résultats sur l'impact de l'ALAN sur les organismes aquatiques en zones côtières, qui restent encore très peu étudiées bien que ce soient des zones d'anthropisation privilégiées impactant fortement les environnements lumineux du littoral.



Ce travail pionnier est axé sur l'huître creuse *Crassostrea gigas*, espèce emblématique de notre littoral et d'intérêt économique de 1er ordre. Ce travail de thèse focalise sur l'impact de l'ALAN sur les caractéristiques des rythmes biologiques et des conséquences physiologiques qui peuvent en découler. Il montre que chez une espèce marine métazoaire dépourvue d'yeux, l'ALAN peut avoir un impact à faible intensité ($\sim 0.1 \text{ lx}$; $\sim 5.85 \cdot 10^{-3} \mu\text{E/m}^2/\text{s}$) et dont l'effet est modulé par sa composition spectrale et par sa modalité d'application. Ces résultats montrent bien que chez des huîtres qui ne peuvent fuir la zone impactée par l'ALAN, les conséquences physiologiques peuvent être drastiques et sûrement sous-estimées vu le peu d'informations actuelles sur ces biotopes. Les atteintes écologiques et économiques de l'ALAN sur le littoral restent à évaluer.



Photographie : Samuel Challeat

Taking light pollution effects on biodiversity into account in conservation measures : challenges and prospects. Case study of European bat species

Prendre en compte les effets de la pollution lumineuse sur la biodiversité dans les mesures de conservation : défis et perspectives. Étude de cas sur les espèces de chauves-souris européennes

Sorbonne Université

Autrice

L. Mariton

Sous la direction de

C. Kerbiriou (CESCO - Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation – 55 rue Buffon – 75 005 PARIS – France), I. Le Viol (Département Écologie et Gestion de la Biodiversité, Muséum National d'Histoire Naturelle) Paris, France, et B. Zanda (Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie, Muséum National d'Histoire Naturelle Paris, France).

Résumé

Ce dernier siècle, les lumières électriques ont proliféré, modifiant l'environnement nocturne. Des études scientifiques alertent sur les effets négatifs de la lumière artificielle nocturne (ALAN) qui perturbe de nombreux processus écologiques et taxons. Notre objectif a ainsi été de combler des manques de connaissances afin d'aider à une meilleure considération des effets de la pollution lumineuse sur la biodiversité dans les mesures de conservation. Nous avons utilisé les chiroptères comme modèles biologiques car ce sont de bons bioindicateurs de l'effet des pressions anthropiques sur la biodiversité et, étant nocturnes, ils sont directement exposés à l'ALAN. Nous avons préconisé de considérer la distribution temporelle des espèces dans les mesures de conservation, un prérequis étant de connaître leur écologie temporelle. Nous avons utilisé les données d'un programme national de suivis acoustiques des chiroptères (Vigie-Chiro) pour étudier leur rythme d'activité nocturne (9807 nuits, 20 espèces). Nous avons montré que les espèces pouvaient être séparées en trois groupes ayant une activité crépusculaire, en cœur de nuit ou intermédiaire, avec des variations des rythmes d'activité selon les saisons. La prise en compte de ces rythmes complexes aiderait à concevoir des mesures de conservation efficaces, par exemple, en définissant des extinctions partielles de l'ALAN adaptées à des espèces cibles. La plupart des chiroptères émergeant tôt sont des espèces « tolérantes à la lumière » pouvant se nourrir sous les lampadaires. Cependant, à l'échelle du paysage, ces espèces semblent moins abondantes à cause de l'ALAN. Cela pourrait s'expliquer par des perturbations de leur rythme d'activité influant possiblement les dynamiques de population. À l'aide des données Vigie-Chiro, nous avons testé si l'ALAN induisait de telles perturbations pour une de ces espèces (*Eptesicus serotinus*). L'ALAN, et dans une moindre mesure la lumière de la lune, réduisaient son abondance. L'ALAN retardait son activité, ce décalage



Sorbonne Université

Ecole doctorale "Sciences de la nature et de l'Homme : évolution et écologie"
(ED227 MNHN-SU)

CESCO (UMR 7204) / Equipe Conservation et Restauration des populations

IMPCM (UMR 7590) / Equipe Research On Carbon-rich Key Samples

**Taking light pollution effects on biodiversity into account
in conservation measures: challenges and prospects**

Case study of European bat species

Par Léa Mariton

Thèse de doctorat de Sciences de la Conservation

Dirigée par Dr Christian Kerbiriou, Dr Isabelle Le Viol, et Dr Brigitte Zanda
(HDR)

Présentée et soutenue publiquement le 10 février 2023

Présidente du jury : Dr Sandra Luque

Devant un jury composé de :

M. Godet, Laurent	Directeur de Recherche, Université de Nantes	Rapporteur
M. Tatoni, Thierry	Professeur, Université d'Aix-Marseille	Rapporteur
Mme Baudry, Emmanuelle	Professeure, Université Paris Saclay	Examinatrice
Mme Luque, Sandra	Directrice de recherche, INRAE Montpellier	Examinatrice
M. Spoelstra, Kamil	Researcher, Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW)	Examinateur
Mme Le Viol, Isabelle	Maître de conférences, Muséum national d'Histoire naturelle	Directrice de thèse
M. Kerbiriou, Christian	Maître de conférences, Sorbonne Université	Directeur de thèse
Mme Zanda, Brigitte	Maître de conférences, Muséum national d'Histoire naturelle	Directrice de thèse

CC BY-NC-ND 3.0 Except where otherwise noted, this work is licensed under <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

était amplifié par la couverture nuageuse, possiblement à cause de son effet amplificateur du halo lumineux. Des analyses complémentaires ont suggéré que l'ALAN retardait l'activité de deux autres espèces « tolérantes à la lumière ». Ainsi, même ces espèces devraient être protégées de l'ALAN. Lorsqu'éclairer est nécessaire, changer l'intensité, la direction ou le spectre des éclairages sont des mesures de réduction possibles. Nous assistons à une modernisation des éclairages avec des diodes électroluminescentes (LEDs). Malgré des impacts potentiels sur la biodiversité, peu d'études se sont intéressées à cette évolution. En réanalysant les données d'une étude publiée, nous avons montré que les changements de spectre et d'intensité accompagnant cette évolution avaient des effets additifs et interactifs sur les chiroptères. Quand l'intensité des LEDs augmentait, leur activité décroissait. Avec les données Vigie-Chiro, nous avons montré que les LEDs pouvait réduire la connectivité du paysage pour les chiroptères, cet impact étant atténué en orientant mieux les lumières. Nous avons recommandé d'utiliser des LEDs avec des couleurs plus chaudes et de moindre intensité. Évaluer l'effet de l'ALAN sur la biodiversité implique des approches spatio-temporelles multi-échelles. Malgré les manques, il y a désormais suffisamment de preuves de l'impact de l'ALAN sur les écosystèmes. Les mesures de réduction étant en développement, évaluer leur efficacité et les améliorations possibles est indispensable. Penser la réduction de l'ALAN à l'échelle du paysage est une évolution impérative, d'où l'émergence du concept de trame noire. Un projet transdisciplinaire sur les pratiques communales d'éclairage et leurs évolutions a été initié pendant cette thèse. En effet, puisque l'ALAN n'a pas que des implications écologiques, mais aussi sanitaires et socio-culturelles, une perspective transdisciplinaire est indispensable pour changer nos façons d'éclairer.

★ ★ ★



Photographie : Samuel Challeat

LES RAPPORTS TECHNIQUES INSTITUTIONNELS

National Light Pollution Guidelines for Wildlife

Directives nationales sur la pollution lumineuse pour la faune sauvage

Rapport édité par le gouvernement australien (Australian government, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water).

Auteurs

K. Pendoley, C. Bell, C. Surman, & J. Choi (principaux contributeurs)

Institution d'affiliation du premier auteur

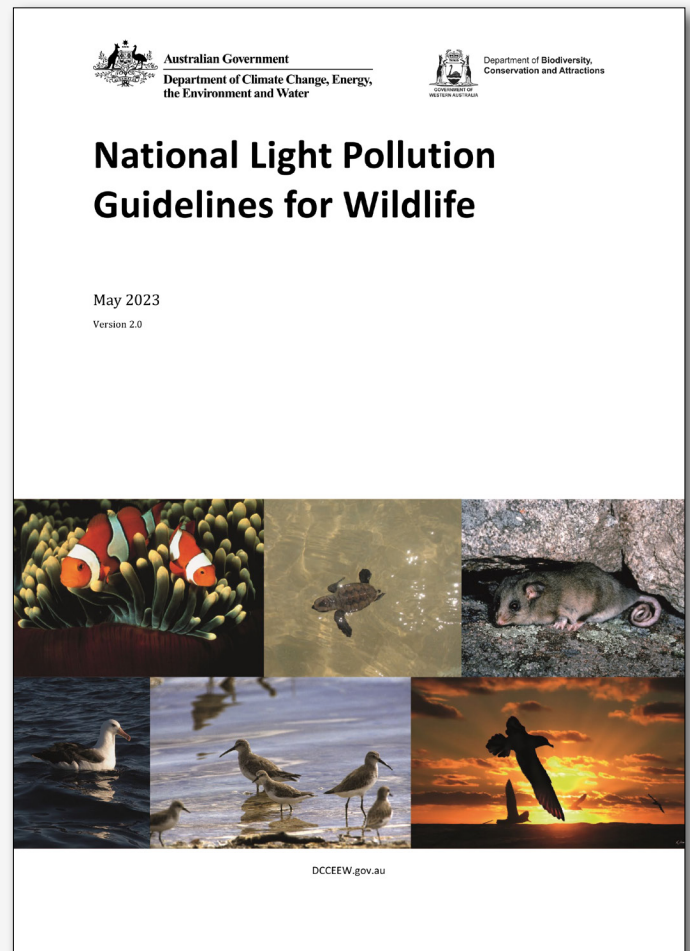
Consultante au cabinet « Pendoley Environmental » en biologie des tortues marines et modélisation et impacts de la pollution lumineuse.

Résumé

L'introduction pose un constat simple mais encore mal connu : l'obscurité naturelle est une ressource écologique aussi essentielle que l'eau propre, l'air ou les sols. Pourtant, elle disparaît rapidement. La lumière artificielle nocturne augmente chaque année à l'échelle mondiale, et probablement plus vite qu'on ne l'imagine. Ce phénomène touche de nombreuses espèces animales, car elles ne perçoivent pas la lumière comme les humains. Beaucoup sont extrêmement sensibles aux longueurs d'onde courtes, comme le bleu ou l'ultraviolet, ce qui rend les éclairages modernes particulièrement perturbants.

Cette pollution lumineuse peut modifier en profondeur le comportement ou la physiologie des animaux. Des exemples concrets sont rappelés : des bébés tortues marines incapables de trouver la mer lorsqu'une plage est éclairée ; des jeunes oiseaux marins qui ne parviennent pas à prendre leur premier envol si la nuit ne tombe jamais vraiment ; des marsupiaux dont la reproduction est retardée par l'exposition à la lumière ; des poissons et invertébrés affectés dans leur croissance ou leur cycle de vie. Ces dérèglements peuvent empêcher la croissance d'une population déjà fragile ou même empêcher un animal d'accomplir des migrations cruciales pour sa survie.

Pour autant, la lumière artificielle joue un rôle réel dans la sécurité, la mobilité ou les activités humaines. Les directives australiennes ne cherchent pas à opposer protection de la nature et sécurité des personnes. Elles invitent au contraire à trouver des solutions créa-



tives permettant de concilier les deux. L'idée centrale est que tout projet impliquant une lumière visible de l'extérieur — bâtiment, route, infrastructure industrielle, éclairage public ou même installation privée — doit se demander si cette lumière peut perturber la faune.

Les lignes directrices proposent ainsi une démarche pragmatique plutôt que des limites strictes. La technologie évolue trop vite, et les réactions des espèces à la lumière varient trop selon les milieux, les saisons ou les comportements. L'objectif est donc d'adopter une approche par résultats : réduire au maximum les perturbations pour que les animaux puissent continuer à se reproduire, se déplacer, s'alimenter et occuper leurs habitats.

Les pages suivantes expliquent comment utiliser ces directives. Elles offrent aux professionnels comme aux collectivités, urbanistes, entreprises ou particuliers un ensemble d'outils théoriques et pratiques : comprendre comment les animaux perçoivent la lumière, connaître les impacts connus, savoir quand une évaluation environnementale est nécessaire, et appliquer des principes de conception d'éclairage qui préservent l'obscurité sans compromettre la sécurité humaine.

Enfin, l'introduction souligne que la gestion de la lumière est devenue un enjeu juridique. De nombreuses espèces affectées par l'éclairage sont protégées au niveau national ou local, et certains territoires ou habitats sensibles doivent faire l'objet d'une attention particulière. Les directives s'accompagnent donc d'un cadre réglementaire précis, de références à la législation environnementale australienne et d'incitations à consulter les collectivités, les autorités compétentes et les connaissances scientifiques les plus récentes.

Dans son ensemble, cette introduction établit une idée forte : la lumière artificielle n'est pas un simple outil neutre du quotidien, mais un facteur de transformation majeure des écosystèmes nocturnes. Bien gérée, elle peut préserver la biodiversité tout en répondant aux besoins humains. Mal maîtrisée, elle contribue silencieusement au déclin d'espèces déjà menacées.

Principaux atouts de ce rapport

Ce rapport se distingue nettement par la qualité de ses apports scientifiques, qu'il s'agisse des effets de l'éclairage artificiel sur le vivant ou des dimensions plus opérationnelles, comme les techniques de mesure de la lumière. Les propositions d'action y sont également présentées de manière précise et concrète, offrant une véritable boîte à outils pour la gestion de la pollution lumineuse.

Après une synthèse introductive d'une dizaine de pages rappelant les principaux effets de la lumière artificielle nocturne sur la faune et la flore, le document s'enrichit d'annexes particulièrement riches. Celles-ci couvrent des aspects techniques et pratiques, ainsi que des considérations détaillées sur certains groupes d'espèces. Même si nombre d'exemples concernent des espèces australiennes, les analyses restent pleinement transposables à des taxons présents en France métropolitaine, tant les mécanismes écologiques en jeu sont similaires.

Artificial Light at Night: State of the Science 2023

Lumière artificielle nocturne : état des connaissances scientifiques 2023

Rapport édité par l'association
DarkSky International

Auteur

J. Barentine

Institution d'affiliation du premier auteur

Consultant dans le domaine de l'astronomie
et la défense du ciel nocturne.

Résumé

Le rapport *ALAN: State of the Science 2023* propose une synthèse accessible et très complète des connaissances actuelles sur la lumière artificielle nocturne (ALAN). Il rappelle dès l'introduction que la pollution lumineuse augmente rapidement partout sur Terre, comme le montrent à la fois les observations satellitaires et citoyennes indiquant une hausse d'environ 10 % par an de la luminosité du ciel entre 2011 et 2022. La lumière artificielle est désormais reconnue comme une pollution environnementale à part entière, aux effets multiples sur les écosystèmes, la santé, la sécurité, le climat et même la justice sociale.

La première section porte sur le ciel nocturne et décrit comment la lumière émise par les villes se disperse dans l'atmosphère pour produire le *skyglow*, un halo lumineux qui efface progressivement les étoiles. La combinaison des éclairages modernes, des matériaux réfléchissants et des conditions météo amplifie ce phénomène. Les pages 2 et 3 montrent comment la transition mondiale vers les LEDs modifie profondément le spectre : les LEDs blanches émettent davantage de lumière bleue, très efficace pour éclaircir le ciel même avec une intensité modérée. Le rapport souligne également le phénomène de références glissantes : chaque génération s'habitue à voir moins d'étoiles que la précédente.

La deuxième section présente l'état des connaissances sur la faune et les écosystèmes. L'ALAN perturbe au moins 160 taxons — oiseaux, poissons, mammifères, amphibiens, insectes, plantes — avec des effets observés à toutes les échelles, des comportements individuels aux dynamiques de populations. Les pages 4 et 5 montrent comment la lumière artificielle modifie la synchronisation des cycles biologiques, les périodes d'alimentation, la reproduction ou encore l'orientation nocturne, notamment chez les espèces dépendantes du clair de lune ou des étoiles. Le document souligne aussi que les anomalies lumineuses altèrent les relations entre espèces, fragmentent les habitats et modifient les chaînes alimentaires, y compris dans les milieux aquatiques où les effets sont mesurables à plusieurs centaines de mètres de profondeur.

La troisième section traite de la santé humaine. Le rapport rassemble de nombreuses études montrant que l'exposition à la lumière nocturne perturbe le sommeil, dérègle les rythmes circadiens et peut être associée à des effets sur la santé mentale, métabolique ou

Artificial Light at Night: State of the Science 2023

DarkSky International

DOI: 10.5281/zenodo.8071915

This briefing summarizes the current state of knowledge about how the widespread and growing use of artificial light at night interacts with six key topics: the night sky (Section 1); wildlife and ecology (Section 2); human health (Section 3); public safety (Section 4); energy security and climate change (Section 5); and social justice (Section 6). It also includes a discussion of the emerging threat from light pollution caused by objects orbiting the Earth (Section 7). Finally, it concludes with a discussion of the knowledge gaps that exist within these topics and the research questions whose answers can fill the gaps (Section 8). It is intended to be useful to those seeking to broaden their understanding of research on the causes and consequences of artificial light at night.

Introduction

Light pollution is surging in both its presence and reach across our planet (1–3). It is the source of both known and suspected harm to the nighttime environment (4, 5). It is also generally recognized as a form of environmental pollution (6). Scientific studies suggest the over-use of artificial light at night (henceforth 'ALAN') is the main source of light pollution (7, 8). The main challenge they identify is how to maximize the human benefits of ALAN while limiting its potentially negative social and environmental impacts (9–11).

1 The Night Sky

Light emitted into the night sky makes it difficult to see the stars. On the ground, ALAN makes the nighttime environment brighter. Weather changes like clouds and snow on the ground can make this impact worse. New and inexpensive light sources like white light-emitting diodes (LEDs) have a growing impact on both the night sky and outdoor spaces at night.

The most immediate symptom of light pollution is the phenomenon of "skyglow". It brightens the night sky in and near cities where large installations of outdoor lighting exist. The lower layers of the Earth's atmosphere scatter light emitted near the ground. Some of that light escapes the atmosphere where Earth-orbiting satellites detect it (12), but many light rays encounter molecules and small particles in the atmosphere. These interactions redirect the paths of some of the light rays back down to the ground. Observers there see

light appearing to come from the night sky itself; see Figure 1. Skyglow competes with the faint light of astronomical objects in the night sky. It lowers the contrast between those objects and the background sky, making it difficult to observe them (13). There are currently no absolute metrics to characterize light pollution in wide use among researchers and practitioners (14, 15).

A slow but steady rise in skyglow in much of the world leads to gradually degraded visibility of the natural night sky and a transformation of outdoor spaces. Such a situation, changing slowly over decades, may go unnoticed due to a psychological effect known as a "shifting baseline" (16). This applies to various aspects of artificial light on a 'normal' night: the number of visible stars, the amount of artificial light associated with perceptions of safety, and the experience of using non-visual senses such as hearing and balance. Along with other effects, the loss of the night sky is barely noticed.

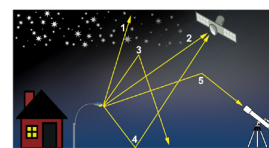


Figure 1. The skylight at left emits light in many different directions. Some of the light rays (1) travel upward into the sky and pass completely through Earth's atmosphere. Satellites detect some of these rays (2) as they pass over the nighttime side of our planet. In other cases (3), the atmosphere scatters rays back to the ground. This light becomes the familiar 'skyglow' seen over cities. Some of the rays traveling downward (4) reflect off the ground into the sky where they are seen by satellites. Lastly, some rays scatter into astronomical telescopes (5), blocking their view of the universe. Credit: ESA.

Researchers have also studied both the sources of light pollution and the means of reducing its influence. In many places, publicly owned sources of light contribute most to the brightness of the night sky, especially in the earlier hours of night (17–19). Certain approaches, such as shielding light fixtures and reducing their intensity, seem to have the greatest benefit in terms of decreasing skyglow (20, 21).

hormonale. Les pages 19 et 20 évoquent notamment des recherches en milieu hospitalier révélant que la lumière en continu ralentit la récupération des patients, en particulier en soins intensifs.

La quatrième section aborde la sécurité publique. Contrairement à une croyance répandue, les données scientifiques ne permettent pas d'affirmer qu'un éclairage plus intense réduit systématiquement la criminalité ou les accidents. Le rapport met en avant l'absence d'études robustes sur ce point et insiste sur la nécessité de mieux comprendre les paramètres techniques — intensité, couleur, uniformité, directionnalité — pour concilier visibilité et sobriété.

La cinquième section se concentre sur l'énergie et le climat. Si les LED sont plus efficaces que les anciennes lampes, leur faible coût provoque souvent un « effet rebond » : on éclaire davantage, ce qui peut annuler les économies attendues. L'impact réel sur les émissions de gaz à effet de serre dépend donc des pratiques de conception de l'éclairage, de l'usage des dispositifs de gradation et d'une limitation stricte aux besoins réels. Le rapport invite à repenser la notion d'efficacité lumineuse pour y intégrer les impacts sur le ciel, la biodiversité et la santé.

La sixième section traite de justice sociale. Les données montrent que les communautés pauvres ou racisées sont souvent davantage exposées à la lumière intrusive, à l'éblouissement ou à des éclairages de mauvaise qualité. Plusieurs études nord-américaines mettent en évidence des liens entre ségrégation urbaine et inégalités d'exposition à l'ALAN, posant la question d'un accès équitable à l'obscurité.

La septième section analyse une source émergente de pollution lumineuse : celle générée depuis l'espace. Les constellations de satellites, comme Starlink, modifient déjà l'apparence du ciel et posent de graves défis à l'astronomie. Le rapport rappelle que plusieurs dizaines de satellites peuvent être visibles à l'œil nu depuis un même lieu, et que leur contribution à la luminosité diffuse du ciel pourrait rivaliser, d'ici 2030, avec celle des lumières terrestres. Les pages 11 et 12 incluent une simulation montrant comment des milliers de satellites pourraient éclaircir le ciel globalement, même lorsqu'ils ne sont pas visibles individuellement. Les enjeux sont également juridiques et géopolitiques.

Enfin, la huitième section identifie les principales lacunes scientifiques : seuils de sensibilité propres à chaque espèce, effets cumulés du *skyglow* sur les écosystèmes, liens de causalité entre ALAN et certaines maladies humaines, impacts des politiques publiques, ou encore capacité maximale de satellites que l'orbite terrestre peut supporter sans dégrader durablement le ciel nocturne. L'auteur appelle à des recherches véritablement interdisciplinaires, mobilisant écologie, urbanisme, santé, astronomie, droit, sociologie et ingénierie.

Dans l'ensemble, le rapport montre que l'ALAN est désormais une pression environnementale majeure, comparable au bruit, aux polluants chimiques ou à la fragmentation des habitats. Protéger la nuit n'implique pas de renoncer à l'éclairage, mais de repenser son usage selon un principe simple : fournir la bonne lumière, au bon endroit, au bon moment, et seulement lorsqu'elle est nécessaire. Le rapport constitue ainsi un outil de référence pour comprendre et réduire les impacts de la pollution lumineuse.



Photographie: David Loose







L'OBSERVATOIRE DE L'ENVIRONNEMENT NOCTURNE DU CNRS

[Site web de l'Observatoire de l'environnement nocturne du CNRS](#)

L'environnement nocturne est devenu, en quelques années, un enjeu scientifique, social et politique majeur. Alors que l'obscurité naturelle décline à un rythme inédit, l'Observatoire de l'environnement nocturne (OEN) du CNRS analyse les mutations des nuits contemporaines et accompagne leur gouvernance. Espace de recherche interdisciplinaire, il mobilise la géographie, l'écologie, la physique de l'atmosphère, les sciences de l'ingénieur et sciences sociales pour comprendre ce que produit, sur les milieux et les territoires, l'extension continue de la lumière artificielle. L'OEN s'appuie sur un ensemble articulé d'instruments et de méthodes : capteurs photométriques, suivis écologiques, mesures acoustiques, enquêtes de terrain, travaux en aménagement, en géographie et en économie de l'environnement, nourris par de nombreux partenariats institutionnels. Cette configuration lui permet de documenter, avec une résolution spatiotemporelle rare, l'évolution de la pollution lumineuse en France et ailleurs, en croisant données physiques, observations écologiques, paysages sonores, contextes territoriaux et dimensions socio-économiques.

Car il s'agit autant de mesurer que d'interpréter : comprendre comment les intensités lumineuses se déploient dans l'espace, comment elles affectent les rythmes biologiques, les paysages nocturnes, les pratiques humaines, et comment elles reconfigurent notre rapport collectif à la nuit. La donnée n'est jamais une fin en soi ; elle devient un support pour interroger nos manières d'habiter, d'aménager et de réguler. Ce souci d'articuler métriques scientifiques, récits territoriaux et enjeux de gouvernance constitue l'une des forces distinctives de l'Observatoire.

L'OEN occupe également une place singulière dans les débats publics et les arènes institutionnelles. Ses travaux contribuent à informer les politiques d'aménagement, les stratégies de sobriété lumineuse et les dispositifs de conservation de la biodiversité. En mettant en évidence la diversité des effets de la lumière artificielle — qu'ils soient écologiques, culturels, sanitaires ou sociaux — l'OEN aide à dépasser les visions strictement technicistes pour replacer la nuit au cœur des dynamiques territoriales. La nuit n'y est jamais réduite à un simple intervalle temporel : c'est un milieu, un paysage, un espace d'expérience, doté d'épaisseurs écologiques et symboliques qui conditionnent nos relations au vivant et au territoire.

Enfin, l'Observatoire se veut un lieu de mise en culture de la nuit. Par des collaborations avec des collectivités, des parcs, des associations, des artistes et des acteurs de l'éclairage, il contribue à réhabiliter une sensibilité à l'obscurité et à ouvrir des imaginaires de gestion qui ne se limitent pas à la seule réduction des nuisances. Comprendre la nuit, c'est aussi reconnaître ce qu'elle permet : des continuités écologiques, des expériences sensibles singulières, des formes de relation au monde qui échappent au régime diurne de la visibilité totale.

À la croisée de la production de connaissances, de l'expertise publique et de la transformation des pratiques, l'OEN incarne une manière renouvelée de faire science : située, ouverte, engagée dans la fabrication collective de territoires plus habitables — pour les humains comme pour les autres vivants.







LE DÉFI CLÉ OCCITANIE BIODIVOC

[Site web du Défi Clé BiodivOc](#)
[Site web du GT](#)

Les changements planétaires en cours, résultat des activités humaines, affectent l'ensemble des composantes de l'environnement et engendrent une érosion de la biodiversité à un rythme alarmant, jamais observé précédemment. Tous les espaces sont touchés, en particulier les plus riches en biodiversité comme l'Occitanie.

Située au carrefour de quatre influences bioclimatiques (atlantique, méditerranéenne, montagnarde et continentale), l'Occitanie possède un patrimoine naturel unique et figure parmi les 36 points chauds de biodiversité à l'échelle mondiale. Elle est aussi la région métropolitaine démographiquement la plus dynamique. Ses métropoles croissent rapidement, et la pression démographique est particulièrement forte sur le littoral. Ce dynamisme affecte fortement la biodiversité et pose des problèmes majeurs, en particulier en termes de consommation et de gestion des ressources naturelles, vivantes ou non.

Les aspects les plus marquants des changements planétaires à l'échelle régionale, au-delà d'un réchauffement climatique particulièrement marqué sur le pourtour méditerranéen, sont l'altération de la biodiversité par la modification de l'usage des milieux (continentaux et marins), incluant un morcellement et une artificialisation des espaces, et l'arrivée d'espèces exotiques posant notamment des problèmes de santé, en particulier humaine.

Or la biodiversité est un bien commun qui constitue à la fois le fondement des services rendus par la nature dont dépendent les sociétés humaines et la ressource essentielle permettant de développer des solutions aux changements globaux. Son érosion a donc des répercussions évidentes aux niveaux écologique, économique et social.

Anticiper les réponses de la biodiversité aux changements planétaires et mitiger

leurs effets à l'échelle régionale est donc une problématique centrale en Occitanie, si on veut maintenir attractivité et qualité de vie.

C'est pourquoi, depuis 2021 la Région Occitanie s'appuie, au travers du Défi Clé BiodivOc, sur une recherche fondamentale forte menée par la communauté régionale en écologie et évolution, première au niveau national, dont l'excellence scientifique et les diversités d'approches contribuent à apporter une réponse dans le cadre d'une politique plus efficiente.

L'objectif est de comprendre la dynamique et l'adaptation de la biodiversité dans des environnements changeants, du niveau des gènes à celui de l'écosystème et des paysages, en prenant pleinement en compte les interactions Homme-nature. Pour y parvenir BiodivOc soutient des projets de recherche ancrés sur le territoire selon une approche globale toutes espèces et tous écosystèmes confondus, mêlant observation, expérimentation et théorie. Par ses actions de recherche et d'animation scientifique, BiodivOc vise à favoriser une recherche plus intégrée, dans une approche à la fois inter- et transdisciplinaire, développant les liens entre science fondamentale, gestion de la biodiversité et Science & société.

Dans ce contexte, un groupe de travail pluridisciplinaire a créé un espace de dialogue dynamique entre les acteurs de la recherche et ceux de la gestion de la biodiversité en Occitanie. Le but principal était d'identifier les besoins des différentes communautés et d'y répondre par des solutions appropriées et concrètes. C'est à partir de cette interaction qu'est née le besoin d'élaborer cette synthèse bibliographique.

Ce rapport a été financé par le
Défi Clé Occitanie BiodivOc

**Défis
Clés**
OCCITANIE



Une réalisation de l'Observatoire de
l'environnement nocturne du CNRS



Pour citer ce document (Foglar, Loose *et al.*, 2025) : Foglar, H.*, Loose, D.*, Barré, K., Mariton, L., Milian, J., & Challéat, S. (2025). *Pollution lumineuse et environnement nocturne. Les productions scientifiques marquantes en 2023*. Rapport d'expertise collective produit dans le cadre du Défi Clé Occitanie BiodivOc. *Contributions équivalentes.