

parviennent plus à s'en éloigner. C'est notamment le cas des insectes.

Gerhard Eisenbeis, de l'université Johannes-Gutenberg, et Andreas Hänel, du muséum d'Osnabrück, en Allemagne, ont publié en 2009 leurs travaux montrant que les lampadaires classiques, équipés de lampe à vapeur de sodium, attiraient, dans le sud-ouest de l'Allemagne, en moyenne une centaine d'insectes par nuit durant l'été. Il s'agit essentiellement de diptères (mouches, moustiques...), de coléoptères et de lépidoptères (papillons de jour ou de nuit). Environ 30 à 40% des individus attirés meurent rapidement soit par la chaleur du contact avec la lampe, soit par déshydratation. Les autres restent le plus souvent piégés par la lumière, incapables de se nourrir ou de rechercher un partenaire pour la reproduction.

Pour se faire une idée de l'étendue des dégâts causés, prenons l'exemple de la France. D'après l'Association française de l'éclairage, il existe 9 millions de points lumineux d'éclairage public. Une simple multiplication indique alors qu'en un seul été, plus de 2 000 milliards d'insectes disparaissent à cause de l'éclairage public ! Et pour être complet, il faudrait ajouter tous les éclairages privés (vitrines, éclairages des particuliers, des sites industriels...). Ce chiffre, bien qu'approximatif, montre que

l'éclairage de nuit affecte de façon notable la biodiversité, puisque les insectes font souvent partie des premiers maillons de la chaîne alimentaire et qu'ils constituent la nourriture principale de nombreuses espèces de vertébrés, d'oiseaux en particulier, et d'autres arthropodes.

LES OISEAUX PIÉGÉS ET DÉSORIENTÉS

Les oiseaux aussi paient un lourd tribut à la pollution lumineuse. Alors que plus de la moitié des espèces migrent de nuit en utilisant la voûte céleste ou le champ géomagnétique pour s'orienter, la lumière artificielle nocturne altère leur comportement et interfère avec leur système d'orientation. Une étude publiée en 2017 par Benjamin Van Doren et ses collègues, du laboratoire Cornell d'ornithologie, aux États-Unis, le démontre. Ces chercheurs ont évalué, à l'aide de radars et de capteurs acoustiques, l'effet des deux faisceaux lumineux symbolisant les deux tours jumelles du World Trade Center, à New York. Ils ont estimé que ce monument mémoriel lumineux, nommé Tribute in Light, a « piégé » environ 1,1 million d'oiseaux lors des 49 jours de suivi (étalés entre 2008 et 2016) !

Beaucoup d'oiseaux s'épuisent à tourner en rond et un certain nombre d'entre eux tombent au sol ou finissent par percuter les bâtiments. L'organisation non gouvernementale Fatal Light Awareness Program a ainsi estimé que, chaque année, pour la seule ville de Toronto, au Canada, 1 à 10 millions d'oiseaux migrateurs périssent par collision avec les immeubles, les structures éclairées de nuit étant particulièrement meurtrières.

Enfin, plusieurs espèces utilisent la lumière présente naturellement la nuit pour s'orienter. C'est le cas de certains coléoptères, les bousiers, qui s'orientent grâce à la Voie lactée, ou des tortues marines, comme nous l'avons évoqué au début de l'article. Dans ces deux exemples, la pollution lumineuse perturbe l'orientation des animaux : les bousiers auront des difficultés à trouver leur source alimentaire et les tortues venant de naître tourneront le dos à la mer et se retrouveront sur les parkings et les routes du littoral, leurrées par la puissance des sources artificielles d'éclairage.

L'une des conséquences de la lumière artificielle nocturne et de la modification associée des comportements individuels est un changement dans les interactions des espèces. Grâce à leurs cycles de vie généralement courts, les insectes sont un groupe zoologique pour lequel cet aspect se prête à l'étude : on peut obtenir, sur une échelle de temps raisonnable, des informations sur la dynamique de leurs populations et le fonctionnement des communautés.

Les lampadaires de l'éclairage public tuent un nombre colossal d'insectes



> Selon l'intensité, la composition spectrale de l'éclairage et la sensibilité des organismes soumis à la lumière artificielle nocturne, certains groupes d'insectes subissent de plus forts risques de prédation en zones éclairées. Ainsi, en 1999, Astrid Heiling, de l'université de Vienne, en Autriche, a comparé le comportement de construction de toile des araignées *Larinioides sclopetarius*, communes près de l'eau et sur les ponts. De façon surprenante, ces arthropodes nocturnes préfèrent tisser leur toile dans des zones artificiellement éclairées, où elles capturent davantage d'insectes que dans les lieux sombres. De la même façon, des chercheurs ont montré qu'en induisant une plus grande abondance d'insectes près des lampadaires publics, la lumière artificielle nocturne a un fort impact sur les interactions des chauves-souris avec leurs proies et contribue à modifier la distribution spatiale des chirop- tères, qui s'agrègent près des points lumineux.

DES COMMUNAUTÉS D'ESPÈCES CHAMBOULÉES

Au-delà de la distribution spatiale, la lumière artificielle nocturne affecte aussi la distribution temporelle des espèces. Ainsi, les espèces nocturnes se retrouvent en compétition avec des espèces diurnes qui prolongent leur activité sur une partie de la nuit artificiellement éclairée, ce qui peut affecter de façon durable la composition et le fonctionnement d'un ensemble d'espèces en interaction. Une étude parue en 2017 et conduite sur le terrain pendant trois ans par des chercheurs du groupe de Kevin Gaston, à l'université d'Exeter, en Angleterre, l'a démontré.

Elle a consisté à évaluer l'impact d'un éclairage artificiel nocturne, *via* des LED blanches, sur la structure et la composition en araignées et en coléoptères vivant dans et sur le sol. Les abondances relatives des espèces ont profondément changé par rapport aux conditions témoins, que ce soit pendant le jour ou la nuit et ce au cours des trois années. De plus, la densité d'individus des espèces prédatrices présentes sous les points d'éclairage était augmentée. Ces résultats montrent clairement que la lumière artificielle nocturne affecte les niveaux supra-individuels d'organisation du vivant, tels que les communautés (ensembles d'espèces en interaction).

Les populations de certaines espèces sont-elles réduites ou menacées par la pollution lumineuse? Les preuves directes d'un impact sur les tailles de populations sont rares, mais on peut s'attendre, *via* les effets sur les individus et les conséquences sur les relations interspécifiques, à des effets négatifs. Par exemple, une étude publiée en 2018 par Frank van Langevelde, de l'université de Wageningen, aux Pays-Bas, et ses collègues suggère que la

lumière artificielle nocturne est l'un des facteurs du déclin des populations de papillons nocturnes constaté sur la période 1985-2015 aux Pays-Bas: ce sont les espèces ayant un fort phototactisme positif dont les populations avaient le plus diminué.

Plus récemment, fin 2019, Brett Seymoure, de l'université d'État du Colorado, et des collègues ont rassemblé dans une publication de nombreux arguments, en s'appuyant sur les études disponibles, suggérant que la lumière artificielle nocturne, en perturbant les mouvements, le développement, l'alimentation ou la reproduction des insectes, est un facteur important, mais sous-estimé, du déclin rapide de leurs populations.

Outre ses impacts sur la biodiversité, la lumière artificielle nocturne peut avoir des effets négatifs sur les services rendus à l'homme par les écosystèmes. Avec des collègues, Eva Knop, à l'université de Berne, en Suisse, en a fourni une élégante démonstration en 2017. Ces chercheurs ont mené une expérimentation en champs, avec des parcelles éclairées et d'autres maintenues dans l'obscurité naturelle, qui a montré explicitement les effets combinés de lumière artificielle nocturne sur les réseaux de pollinisateurs nocturnes et diurnes. Dans les zones éclairées, les interactions nouvelles entre les pollinisateurs diurnes et nocturnes, qui normalement ne se rencontrent pas, ont réduit le nombre de fleurs visitées aussi bien la nuit que, de façon plus surprenante, le jour. Avec, pour conséquence, une production de graines fortement diminuée.

Des effets de la pollution lumineuse nocturne sur la santé humaine sont également vraisemblables. On le suspecte dans le cas de certains cancers. De plus, des effets indirects sur la santé humaine sont possibles *via* la transmission de maladies véhiculées par des insectes. Par exemple, une étude publiée en 2012 et portant sur trois villages mexicains a montré que l'infestation des habitations par les punaises *Triatoma dimidiata* (qui se nourrissent de sang de vertébrés, dont les humains), vectrices de la maladie de Chagas, est notablement plus importante à proximité des sites d'éclairage public.

L'éclairage artificiel nocturne a-t-il toujours des conséquences négatives? Peut-être pas, puisque certaines espèces en profitent. Nous avons vu que certaines espèces de chauves-souris tirent parti de la lumière artificielle nocturne et tendent à chasser près des lampadaires, vers lesquels les insectes sont attirés. De même, on peut citer les travaux publiés en 2018 par Roy van Grunsven et ses collègues, de l'institut d'écologie IGB, à Berlin, montrant que certaines limaces profitent de la lumière artificielle nocturne pour s'alimenter en réduisant



Le Tribute in Light, structure lumineuse mise en place à New York pour commémorer l'attentat du 11 septembre 2001 contre les tours jumelles, perturbe notablement les espèces d'oiseaux migrant la nuit. Une équipe de chercheurs a estimé à 1,1 million le nombre d'oiseaux qui ont été piégés par ce mémorial lumineux au cours des 49 jours, répartis sur plusieurs années, ayant fait l'objet d'un suivi.



le risque de prédation et en augmentant le succès de la recherche de nourriture.

L'optimisme n'est pourtant pas de mise si l'on met ces résultats en regard des nombreux indicateurs d'effets négatifs. Néanmoins, des études portant sur le long terme sont nécessaires pour dresser un bilan rigoureux et objectif. De tels travaux permettront de décrire et quantifier les modifications des interactions (trophiques, compétitives, etc.) au sein des communautés d'espèces, et ainsi de prédire l'impact sur le fonctionnement des écosystèmes et les trajectoires évolutives que vont emprunter les espèces, trajectoires dont certaines peuvent mener à l'extinction...

QUELS REMÈDES ?

Même si l'on ne connaît pas encore bien l'étendue des bouleversements dans les écosystèmes soumis à la pollution lumineuse, les altérations observées sont à présent si nombreuses qu'une concertation entre décideurs, législateurs, scientifiques et citoyens devient indispensable.

En France, l'Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturne (ANPCEN) milite depuis 1999 pour le respect de la nuit et de l'environnement nocturne. Elle a joué un rôle primordial pour faire évoluer la législation française relative à l'éclairage nocturne (Grenelle de l'Environnement, loi sur la transition énergétique, loi de reconquête de la biodiversité de la nature et des paysages). L'éclairage public faisant partie de la compétence de police du maire, c'est à lui

d'ajuster la durée, l'intensité et la qualité de la lumière artificielle nocturne et ce, même en cas de délégation de l'éclairage à un syndicat d'énergie (article L.2212-1 du code général des collectivités territoriales).

Les maires disposent de plusieurs leviers pour limiter la pollution lumineuse. Des centaines de communes programment leur éclairage public afin de l'éteindre une bonne partie de la nuit, période pendant laquelle les activités humaines et le besoin en lumière sont moindres. Ces communes peuvent bénéficier d'un label « villes et villages étoilés » indiquant une vraie réflexion locale sur les nuisances lumineuses.

Un éclairage mieux conçu contribue également à une limitation de la pollution lumineuse. Nous avons tous en mémoire les lampadaires « boules » qui dissipent l'essentiel de la lumière produite vers le ciel et non vers la chaussée. L'éclairage public a été repensé, avec des réflecteurs et des formes de lampadaire qui concentrent le flux lumineux sur la zone utile, mais des milliers de points lumineux restent encore à moderniser. Par ailleurs, l'essor des LED dans l'éclairage public a des effets pervers. D'une part, certaines communes profitent des économies d'énergie associées pour augmenter le nombre de points d'éclairage. D'autre part, on l'a vu, l'émission des LED utilisées a souvent une part importante de lumière bleue qui altère la sécrétion de mélatonine : des LED produisant une lumière plus chaude (orange-ambree) sont à privilégier.

Il est aussi possible de coordonner des actions à une échelle spatiale supérieure. Les premières mesures de réduction à une grande échelle de la pollution lumineuse ont été mises en œuvre afin de garantir le fonctionnement correct de certains observatoires astronomiques. C'est ainsi que la première réserve internationale de ciel étoilé (RICE) a été inaugurée en 2007 au Canada, près de l'observatoire du Mont-Mégantic. Cela s'est traduit par une réduction drastique des niveaux de la lumière artificielle nocturne dans les 25 communes autour de l'observatoire. En France, deux réserves ont été créées avec le même objectif (pic du Midi de Bigorre, en 2013, et parc national des Cévennes, en 2018). Enfin, ces dernières années, des travaux ont été menés autour du concept de « trame noire » afin d'identifier et maintenir un réseau écologique « refuge » caractérisé par son obscurité pour les animaux nocturnes.

Ainsi, il existe des solutions au problème de la pollution lumineuse, problème dont l'ampleur se révèle de plus en plus importante. Moyennant quelques efforts, il est possible de maintenir une nuit noire et réduire les effets néfastes de la lumière artificielle nocturne. ■

BIBLIOGRAPHIE

E. Desouhant et al., **Mechanistic, ecological, and evolutionary consequences of artificial light at night for insects : Review and prospective**, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 167, pp. 37-58, 2019.

F. Falchi et al., **Light pollution in USA and Europe : The good, the bad and the ugly**, *Journal of Environmental Management*, vol. 248, 109227, 2019.

A. C. S. Owens et al., **Light pollution is a driver of insect declines**, *Biological Conservation*, vol. 241, article 108259, 2019.

T. W. Davies et T. Smyth, **Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century**, *Global Change Biology*, vol. 24, pp. 872-882, 2018.

F. Falchi et al., **The new world atlas of artificial night sky brightness**, *Science Advances*, vol. 2, e1600377, 2016.

K. J. Gaston et al. (dir.), **The biological impacts of artificial light at night : From molecules to communities**, numéro thématique de *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 370, n° 1667, 2015.