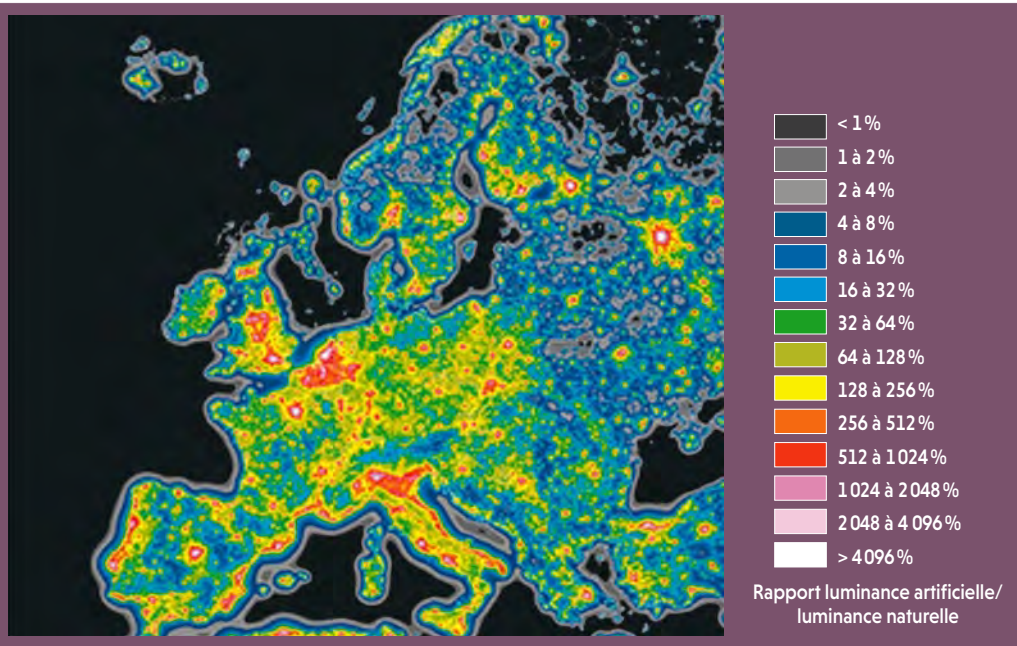




Ces cartes publiées en 2016 représentent par niveaux de couleur la brillance, ou luminance, du ciel nocturne due à la lumière artificielle, rapportée à la luminance naturelle (supposée être de 174 microcandelas par mètre carré). Le noir correspond à un rapport luminance artificielle/luminance naturelle inférieur à 1 %, le gris foncé à un rapport compris entre 1 et 2 %, puis la fourchette de rapports double d'une couleur à la suivante. Le blanc correspond à un rapport supérieur à 4 100 %. Dès que ce rapport dépasse environ 400 %, la Voie lactée n'est plus discernable...

vivantes sont exposées à des longueurs d'onde lumineuses peu ou jamais rencontrées pendant toute leur évolution, et l'on peut donc légitimement s'interroger sur leur capacité d'adaptation à ces nouvelles composantes.

LA MÉLATONINE, PRINCIPALE CIBLE HORMONALE

La lumière artificielle nocturne représente ainsi un nouveau facteur environnemental qui pose la question de la réaction et de l'adaptabilité, vis-à-vis de ce facteur, des animaux (dont les humains) et des végétaux.

La réponse à cette question suppose de savoir sur quoi agit la lumière artificielle nocturne. On sait aujourd'hui que, chez les animaux, elle perturbe les rythmes circadiens qui régulent la chronologie de diverses activités telles que l'alimentation, la sexualité, la veille et le sommeil..., mais aussi le métabolisme énergétique. Par exemple, en 2018, Morgane Touzot, doctorante à l'université Lyon-1, a montré qu'une pollution lumineuse nocturne de 5 lux (voir le tableau ci-dessous) induit chez le crapaud commun (*Bufo bufo*), dès la première nuit d'exposition, une diminution drastique (-56 %) de l'activité locomotrice des mâles en période de reproduction, ainsi qu'une augmentation de leur métabolisme énergétique de base (+28 %).

Ces rythmes circadiens dépendent d'un ensemble de gènes dont le fonctionnement est

largement modulé par une hormone, la mélatonine. Or celle-ci est la principale cible hormonale de l'éclairage artificiel nocturne. La mélatonine est généralement sécrétée la nuit par la glande pinéale, dans le cerveau, sa synthèse à partir d'un acide aminé (le tryptophane) étant inhibée par la lumière le jour. Même si la durée et l'intensité de libération de cette hormone varient selon les espèces, la sécrétion de mélatonine reflète la longueur de la nuit et est donc un marqueur de la photopériode, c'est-à-dire de la durée de l'éclairage du jour.

Par exemple, en 2016, l'équipe de Marcel Visser, à l'Institut d'écologie des Pays-Bas, a révélé que la production de mélatonine est supprimée ou diminuée chez des mésanges charbonnières exposées à une lumière nocturne variant de 0,05 à 5 lux. On retrouve des résultats similaires chez de nombreux oiseaux et mammifères, comme le wallaby de l'île Eugène (*Macropus eugenii*), un petit marsupial nocturne du sud de l'Australie, et chez certains poissons comme la perche soleil (*Lepomis gibbosus*).

Détaillons un peu le cas du wallaby de l'île Eugène. Chez cette espèce très sensible à la longueur du jour, la naissance des jeunes est synchronisée par la lumière naturelle et a lieu la sixième semaine après le solstice d'été. Or dans une étude publiée en 2015 par Kylie Robert, de l'université La Trobe, à Melbourne >

Les valeurs de l'éclairément (intensité lumineuse reçue par unité de surface) associé à quelques sources de lumière naturelles et artificielles. L'éclairément est exprimé en lux, sachant que 1 lux correspond à une intensité lumineuse de 1 lumen reçue sur 1 mètre carré. (À titre indicatif, une LED de 4,5 watts, à usage domestique, a un flux lumineux d'environ 500 lumens.)

Plein soleil	Partiellement ensoleillé	Ciel nuageux en journée	Habitations (intérieur)	Lampadaires urbains (routes)	Lampadaires urbains (zones résidentielles)	Plein lune (conditions claires)	Halo lumineux (skyglow)	Nuit étoilée (sans lune)
103 000	50 000	1 000 - 10 000	100 - 300	~10 - 40	5 - 10	0,3	~0,15	~0,001

> (Australie), et ses collègues, la comparaison de deux populations de la côte est de l'Australie (l'une exposée à de la lumière artificielle nocturne, l'autre non) a révélé un retard de un mois du pic de naissances chez les animaux de la zone polluée par la lumière. La croissance de l'embryon est normalement liée à de tout petits changements de la durée de la nuit, de l'ordre de six minutes, changements que les animaux ne peuvent plus percevoir dans les zones où sévit la pollution lumineuse. Comme chez toutes les espèces animales, les naissances sont souvent en phase avec le pic d'abondance de nourriture, et un décalage temporel trop important a généralement des conséquences graves sur la survie des jeunes et le maintien des populations.

L'impact biologique de la lumière artificielle nocturne dépend de son intensité, mais aussi des longueurs d'onde auxquelles sont exposés les animaux. Selon les travaux menés ces dernières années par Jenny Ouyang, de l'université du Nevada, et ses collègues, les longueurs d'onde courtes et moyennes comme le bleu (produites par les LED blanches), induisent chez les humains, les rongeurs, les oiseaux et les poissons une plus forte réduction de la synthèse de mélatonine que les grandes longueurs d'onde comme le orange-rouge.

UNE NOUVELLE FORME DE PERTURBATEUR ENDOCRINIEN

Une perception altérée de la longueur du jour a un impact important sur la reproduction saisonnière *via* une dérégulation de la production d'hormones sexuelles. Chez de nombreuses espèces, la longueur du jour constitue un signal pour le démarrage de l'activité reproductrice au printemps. En augmentant la durée perçue du jour, la lumière artificielle nocturne a pour conséquence d'avancer le début de leur saison de reproduction. C'est ce que l'on constate chez de nombreux oiseaux vivant dans des zones urbaines, par rapport à leurs congénères des zones rurales.

Au début des années 2010, afin d'évaluer les effets à long terme de l'exposition chronique à la lumière artificielle nocturne, Davide Dominoni et ses collègues de l'institut Max-Planck d'ornithologie, en Allemagne, ont soumis des merles à une faible intensité lumineuse nocturne (0,3 lux) en continu pendant deux ans. Au cours de la première année, les merles exposés à cette lumière présentaient un cycle gonadique fonctionnel, mais plus précoce que chez les oiseaux témoins. La deuxième année, leur appareil reproducteur ne s'est pas développé : la taille des testicules et la concentration de testostérone étaient au même niveau que celles enregistrées hors saison de reproduction.

Ainsi, la lumière artificielle nocturne affecte le fonctionnement de plusieurs systèmes



endocriniens et, à ce titre, on peut la considérer comme une nouvelle forme de « perturbateur endocrinien ». Elle peut même provoquer, directement ainsi que *via* la modification du patron de sécrétion de la mélatonine, une sécrétion accrue d'hormones de stress (des glucocorticoïdes) chez les vertébrés.

Jenny Ouyang et ses collègues ont observé ce phénomène en 2015 chez des poussins de mésanges charbonnières élevés en milieu naturel avec de la lumière blanche la nuit, que les chercheurs comparaient à des poussins élevés sans lumière nocturne ou avec de la lumière verte ou rouge. Or une augmentation chronique du taux de glucocorticoïdes induit généralement une diminution des défenses immunitaires, bien que cet aspect n'ait pas été étudié chez les mésanges.

Le système immunitaire peut aussi être perturbé par d'autres voies. En exposant des grillons australiens *Teleogryllus commodus* à de la lumière nocturne, Joanna Durrant et ses collègues, de l'université de Melbourne, en Australie, ont en 2019 mis en évidence que l'immunité de ces insectes diminue. Pourtant, comme les autres insectes et arthropodes, ces grillons ne produisent pas de glucocorticoïdes. L'effet négatif de la pollution lumineuse sur l'immunité semble donc général, bien que les mécanismes en jeu restent à préciser.

La lumière nocturne modifie par ailleurs le comportement de nombreuses espèces animales. Certaines espèces sont attirées par la lumière (on parle de phototactisme positif), tandis que d'autres ont tendance à la fuir. Les espèces à phototactisme positif sont particulièrement vulnérables face à la lumière artificielle nocturne. En effet, une fois attirées, elles sont piégées par la source lumineuse et ne

Les tortues marines (ici des caouannes, *Caretta caretta*) qui naissent la nuit sur une plage doivent rejoindre dans les plus brefs délais la mer. Pour se diriger, elles s'appuient sur la différence de luminosité entre la partie océanique et la partie terrestre de leur horizon, la surface de la mer réfléchissant davantage la faible lumière ambiante. La présence d'éclairages artificiels sur le littoral perturbe cette orientation.