



HAL
open science

La pollution lumineuse

Magalie Franchomme

► **To cite this version:**

Magalie Franchomme. La pollution lumineuse: Les notes scientifiques de l'office, Note n°37. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques; Rédactrice Annick Jacquemet, sénatrice. 2023, pp.15. hal-04187530

HAL Id: hal-04187530

<https://cnrs.hal.science/hal-04187530>

Submitted on 24 Aug 2023

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.



Source : NicoElNino/AdobeStock

Résumé

- *La pollution lumineuse est un phénomène massif et en pleine extension au niveau mondial, notamment en raison du développement des LED.*
- *En perturbant les cycles naturels de lumière et d'obscurité qui structurent le monde vivant et en fragmentant spatialement et temporellement les habitats, la lumière artificielle nocturne participe, au même titre que d'autres pressions anthropiques, au déclin de la biodiversité. En outre, elle soulève de réelles préoccupations en matière de santé publique.*
- *Une lutte efficace contre la pollution lumineuse nécessite de changer de paradigme en passant d'un éclairage systématique à une adaptation fine de celui-ci selon le contexte. Elle ne pourra réussir qu'à travers la mobilisation de tous pour une sobriété lumineuse, distincte de la sobriété énergétique.*

Annick Jacquemet, sénatrice

■ Les caractéristiques de la pollution lumineuse

Une pollution liée au développement de l'éclairage artificiel nocturne

La peur de la nuit trouve son origine dans la crainte d'attaques de bêtes sauvages. Avec la découverte du feu, l'homme invente l'éclairage partagé d'un espace public communautaire, ancêtre de l'éclairage public¹. Toutefois, ce n'est qu'à partir de la fin du 17^e siècle que l'éclairage public moderne des villes apparaît, avec l'ambition de démontrer que le pouvoir public a la capacité de prolonger le jour et d'abolir l'obscurité².

Au fil des siècles suivants, les fonctions de l'éclairage urbain s'élargissent. Pensé à l'origine pour sécuriser et surveiller³, il sert également à faciliter les déplacements et participe au marketing territorial et à l'attractivité des villes⁴.

Au-delà de l'éclairage urbain, la lumière artificielle a permis la multiplication des activités humaines nocturnes privées, qu'elles soient économiques, sportives, culturelles, etc.

A l'heure actuelle, **l'éclairage public⁵ représente environ 70 % de l'éclairage**, contre 30 % pour l'éclairage privé, même si cette proportion varie selon les zones géographiques⁶.

Une pollution multiforme qui reste compliquée à mesurer

La pollution lumineuse peut prendre plusieurs formes⁷ :

- **la sur-illumination** (utilisation excessive de lumière). Deux paramètres permettent de mesurer la sur-illumination : le nombre (ou densité) de points lumineux sur un territoire et l'éclairement⁸ (à travers son flux et sa durée) ;

- **l'éblouissement** du à une trop forte luminance ou à un contraste trop intense entre les couleurs claires et sombres. La luminance est accrue lorsque la surface émettrice de lumière est petite, ce qui explique le pouvoir particulièrement éblouissant des LED par rapport à d'autres éclairages. La luminance⁹ permet de mesurer les risques d'éblouissement de la faune par les éclairages artificiels ;
- **le halo lumineux** provoqué par la lumière non directionnelle émise en direction du ciel par les éclairages urbains. Il est visible à des dizaines de kilomètres des sites de production de la lumière artificielle¹⁰.

Les effets de la lumière artificielle nocturne varient également en fonction de sa composition spectrale^{11 12} et, par conséquent, de sa température de couleur.

Plusieurs techniques ont été développées pour mesurer la pression lumineuse (données satellitaires, mesures zénithales au sol, modélisation), avec leurs avantages et leurs inconvénients¹³.

Une pollution massive et en pleine expansion au niveau mondial

La croissance continue de la population mondiale, associée à une urbanisation toujours plus forte, au développement des infrastructures humaines, à la baisse des coûts d'éclairage et à l'apparition de nouvelles technologies, a entraîné une explosion des émissions lumineuses anthropiques, en particulier dans les grandes villes et les pays industrialisés.

En 2014, la lumière artificielle touchait 23 % de la surface terrestre et 88 % des zones industrialisées comme l'Europe¹⁴ (85 % du territoire français métropolitain¹⁵). Entre 2012 et 2016, la surface de la terre éclairée par la lumière artificielle

extérieure a augmenté de 2,2 % par an, avec une croissance de la radiance¹⁶ de 1,8 % par an¹⁷. Une étude très récente basée sur les sciences participatives montre qu'entre 2011 et 2022, la brillance du ciel du fait de la lumière artificielle a augmenté à un rythme de 10% par an au niveau mondial, soit un doublement en moins de huit ans¹⁸. **Le remplacement des lampes à incandescence ou des lampes à décharge par des LED¹⁹ à partir des années 2000 a eu un effet rebond²⁰** sur la pollution lumineuse à travers le développement d'éclairages dans de nouvelles zones et la multiplication des éclairages publics et privés²¹.

En France, le nombre de points lumineux liés à l'éclairage public est passé de 7,2 millions en 1990 à 9,5 millions en 2015, pour s'établir à 11 millions aujourd'hui²², soit une augmentation de +53 % depuis 1990²³. En revanche, la durée d'éclairage de l'éclairage public en France a diminué de 12 % depuis 1990²⁴ en raison de l'extinction pratiquée au cœur de la nuit par près de 12 000 communes. **La publication récente de cartes de la pollution lumineuse mesurée en 2014 et en 2021²⁵ montre une légère diminution de la pollution lumineuse au cœur de la nuit, mais ces données ne donnent pas d'indication sur la pollution lumineuse en début et fin de nuit.**

■ Les effets de la pollution lumineuse

La pollution lumineuse dégrade les paysages nocturnes et notre rapport à la nuit

35,9 % de la population mondiale n'est plus en mesure d'observer la Voie Lactée la nuit. Ce taux s'élève à 60 % pour les Européens et 80 % pour les Nord-Américains²⁶. Non seulement **la pollution lumineuse compromet l'observation des étoiles²⁷, mais elle contribue également à la déconnexion des individus et des sociétés de leur environnement.** En effet, la nuit reste l'une des rares occasions pour l'Homme de s'extraire de sa vision anthropocentrée de l'univers et de faire l'expérience du monde vivant non humain. Or, de telles expériences sont indispensables pour assurer l'éducation à une « citoyenneté environnementale »²⁸.

Pendant des millénaires, l'obscurité a influencé notre appréhension sensorielle du monde. La pollution lumineuse appauvrit notre relation à l'obscurité dans ses aspects artistiques, culturels, historiques, philosophiques et religieux.²⁹

La pollution lumineuse contribue au gaspillage énergétique et au changement climatique

Selon l'Ademe, la consommation d'électricité annuelle pour l'éclairage public et l'éclairage des bâtiments s'élève à 2900 TWh au niveau mondial, soit 13 % de la production totale d'électricité, et à 56 TWh pour la France³⁰. **La pollution lumineuse entraîne un gaspillage d'énergie non négligeable³¹ et contribue à l'émission de gaz à effet de serre³².**

La rénovation des systèmes d'éclairage par les LED devrait permettre de réduire fortement la consommation d'énergie compte tenu du rendement énergétique des LED³³. Cette diminution pourrait cependant être moins importante que prévu en cas d'augmentation du nombre de points lumineux et de la quantité de lumière émise, ce qui a été constaté par le passé³⁴. Par ailleurs, les LED sont majoritairement produites en Chine avec de l'électricité fortement carbonée et nécessitent d'extraire des terres rares, processus très émissif de CO₂ et polluant, ce qui oblige à relativiser leur bilan carbone³⁵.

La pollution lumineuse contribue au déclin de la biodiversité

Le cycle du jour et de la nuit est un élément structurant de l'évolution du vivant.

Les besoins fondamentaux d'obscurité sont de deux ordres³⁶ :

- **des besoins spatiaux d'obscurité** : 28 % des vertébrés et 64 % des invertébrés vivent partiellement ou exclusivement la nuit³⁷ et se sont parfaitement adaptés à l'obscurité pour se repérer dans l'environnement et se déplacer³⁸. La lumière présente dans l'environnement influence leurs mouvements soit par un **phénomène de répulsion** (phototactisme négatif), soit par un **phénomène d'attraction** (phototactisme positif)³⁹. Les plantes et les champignons réagissent également à l'orientation de la lumière⁴⁰ ;
- **des besoins temporels d'obscurité** : le temps est une dimension fondamentale des écosystèmes⁴¹. **La temporalité peut s'exprimer à l'échelle quotidienne** (lorsqu'il s'agit de chasser, se nourrir, se déplacer, dormir, chanter, laisser s'ouvrir les fleurs, etc.). Elle est alors régulée par le système circadien qui régit une multitude de processus métaboliques, physiologiques et comportementaux⁴². **La temporalité s'exprime également à l'échelle saisonnière** (lorsqu'il s'agit d'hiberner, de se reproduire, de muer, de migrer ou encore de polliniser par exemple) à travers les horloges circadiennes et **circannuelles avec les périodicités naturelles⁴³**. La remise en cause de cette alternance par la lumière artificielle entraîne des effets néfastes sur la biodiversité au niveau des individus et au niveau des écosystèmes.

- ✓ **La pollution lumineuse perturbe le comportement et la physiologie des individus**

La lumière artificielle nocturne modifie le comportement des individus à plusieurs titres.

Elle contrarie la mobilité des espèces se déplaçant la nuit. Les mécanismes en jeu varient en fonction du phototactisme des espèces⁴⁴. **La lumière artificielle perturbe les mécanismes d'orientation des oiseaux migrateurs** qui peuvent être leurrés par les points lumineux de grande ampleur. Les insectes lucifuges se retrouvent attirés puis piégés autour des sources lumineuses. La lumière artificielle contraint les espèces lucifuges dans leurs déplacements en les obligeant à se détourner de leur chemin habituel, voire en les empêchant d'accéder à des zones vitales parce qu'elles sont éclairées.

En interférant avec l'orientation et le mouvement des organismes, **la pollution lumineuse a une responsabilité directe notamment dans la mort de centaines de millions d'oiseaux et de milliers de milliards d'insectes⁴⁵ chaque année.** Ces pertes s'expliquent par différents mécanismes : les individus s'épuisent, entrent en collision avec des obstacles ou encore sont attirés dans des zones dépourvues de ressources adéquates ou présentant un risque accru de prédation.

La lumière artificielle nocturne est particulièrement néfaste à certaines phases de l'existence (période de ponte et de nidification pour les oiseaux⁴⁶, dispersion juvénile pour les tortues marines⁴⁷...) et peut entraîner des déclin de population importants⁴⁸.

La lumière artificielle nocturne gêne l'acquisition de nourriture qui se trouve réduite ou décalée dans le temps et peut entraver le développement des individus⁴⁹ et la croissance de leur progéniture⁵⁰.

La lumière artificielle nocturne altère également la communication intraspécifique, perturbant en particulier les activités de reproduction. Ainsi, les lucioles requièrent l'échange de signaux bioluminescents pour attirer leurs partenaires, signaux qui sont obstrués voire effacés par la lumière artificielle au point que les femelles qui se trouvent sous les lampadaires ne sont jamais visitées par les mâles⁵¹. Pour d'autres espèces comme les amphibiens ou les oiseaux, la communication passe par le chant qui peut également être perturbé par la lumière artificielle, avec des conséquences néfastes sur la reproduction⁵².

La dégradation de l'obscurité par la lumière artificielle empêche la sécrétion de mélatonine, bouleverse la synchronisation de l'horloge circadienne centrale et modifie l'architecture du sommeil. **Elle entraîne des perturbations sur une myriade de fonctions physiologiques et métaboliques aussi bien sur la faune que sur la flore.** Sont couramment cités les effets sur la masse corporelle⁵³, la réduction de la fécondité⁵⁴ et du sommeil, la modification de la structure neuronale, la modification des réponses immunitaires, la vitesse de développement⁵⁵, voire des effets sur l'expression de certains gènes⁵⁶. **La lumière artificielle nocturne provoque également des décalages phénologiques⁵⁷** qui peuvent avoir des conséquences dramatiques en termes de reproduction et de conservation des populations⁵⁸.

Les éclairages artificiels constituent donc une véritable pollution pour la biodiversité, avec un impact particulièrement important des systèmes d'éclairage par LED compte tenu de la forte proportion de bleu^{59 60}.

Ces impacts sur la biodiversité sont significatifs même lorsque les intensités lumineuses sont faibles⁶¹.

✓ **La pollution lumineuse altère le fonctionnement des écosystèmes**

La pollution lumineuse perturbe les relations interspécifiques.

Certaines espèces diurnes⁶² profitent de la lumière artificielle pour augmenter leur période d'activité car elle leur offre une plus grande visibilité. Elles vont donc empiéter sur les niches temporelles d'activité d'espèces nocturnes et entrer en compétition avec elles.

La lumière artificielle nocturne déséquilibre également les relations proies-prédateurs, avec une présence disproportionnée des prédateurs dans les habitats illuminés (tels que les chauves-souris insectivores, les rats, les oiseaux, les reptiles ou encore les araignées).⁶³

Au sein même des espèces nocturnes, la pollution lumineuse va favoriser les espèces dont les comportements sont les moins impactés par la lumière artificielle⁶⁴. Elle agit ainsi comme un filtre et pourrait devenir un nouveau facteur de sélection.

Pour de nombreuses espèces, la pollution lumineuse apparaît comme un facteur de dégradation, de fragmentation, voire de suppression de leurs habitats, avec des conséquences sur les assemblages de communautés⁶⁵.

Si de telles modifications avaient lieu à grande échelle, elles pourraient altérer l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes, provoquant des effets en cascade sur des espèces qui ne sont pas affectées *a priori* par la lumière artificielle. Ainsi, il a été démontré que la pollution lumineuse perturbe les réseaux de pollinisation nocturne, entraîne des conséquences négatives sur le succès de reproduction des plantes, mais a également un impact négatif sur les pollinisateurs de jour⁶⁶.

La pollution lumineuse peut donc remettre en cause certains services écosystémiques comme la pollinisation ou encore le cycle naturel des nutriments.

Longtemps sous-estimée, la lumière artificielle est désormais considérée par les écologues comme une pression anthropique majeure qui contribue au déclin de la biodiversité. Elle est présente dans tous les écosystèmes : terrestres - la pollution lumineuse touche 23 % de la surface terrestre (au lieu de « seulement » 3 % pour l'artificialisation des sols), mais également marins⁶⁷ : 22 % des régions côtières sont exposées à la lumière artificielle, en particulier autour de la mer Méditerranée, de la Mer rouge, du golfe persique et des mers de l'Asie du Sud-Est. Par ailleurs, 42 % des zones protégées connaîtraient une augmentation de leur exposition à la pollution lumineuse depuis le début des années 1990⁶⁸.

Les effets de la lumière bleue sur la santé humaine

À l'instar des autres espèces animales, l'exposition lumineuse est le synchronisateur principal de l'horloge biologique circadienne chez l'être humain. **La sensibilité de celle-ci repose principalement sur les cellules ganglionnaires à mélanopsine (CGM) de la rétine, fortement stimulées par la lumière bleue, avec un pic de sensibilité aux environs de 480 nm.** Les CGM envoient leurs messages vers les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus, siège de l'horloge biologique centrale. Celle-ci contrôle la rythmicité d'un ensemble très vaste de processus et fonctions biologiques impliqués dans l'éveil, le sommeil, la cognition, l'humeur, le métabolisme, la division cellulaire, la réparation de l'ADN, etc. L'horloge biologique centrale contrôle également la production d'une hormone, la mélatonine⁶⁹, dont la sécrétion est inhibée par l'exposition à la lumière Or, notre mode de vie actuel tend de plus en plus à nous exposer en soirée et dans la nuit à de multiples sources lumineuses bleues (éclairages, écrans), ce qui entraîne une perturbation des cycles circadiens⁷⁰ et un dérèglement de la physiologie.

La perturbation des cycles circadiens entraîne chez l'être humain des troubles plus ou moins importants, notamment l'altération du sommeil, une latence à l'endormissement, des troubles de la mémoire, de l'humeur, de l'attention, mais également des risques cardio-vasculaires, ainsi qu'une augmentation des risques de cancer du sein⁷¹ et de la prostate, de diabète ou d'obésité⁷².

Enfin, **certains systèmes d'éclairages à LED⁷³ sont phototoxiques⁷⁴ pour la rétine.** La réglementation impose que seules les lampes (surtout les lampes à LED) de groupe de risque photobiologique égal à 0 (« sans risque ») ou 1 (« risque faible ») soient autorisées, mais certaines sources lumineuses échappent à la réglementation, comme les lampes torches et les phares de voitures⁷⁵. Les populations les plus sensibles sont les nourrissons, les enfants et les jeunes adultes⁷⁶, ainsi que les personnes souffrant de pathologies ou d'anomalies oculaires⁷⁷.

■ Pour une lutte efficace contre la pollution lumineuse

De nombreux moyens d'action aux résultats variables

✓ Une réglementation nationale ambitieuse mais mal appliquée

Plusieurs paramètres techniques entrent en jeu dans les nuisances exercées par la lumière artificielle : la durée de l'éclairage, son intensité lumineuse, sa densité, son orientation et son spectre lumineux. **La France a développé une réglementation ambitieuse pour limiter les nuisances lumineuses.** Un certain nombre d'éclairages extérieurs aussi bien publics que privés⁷⁸ sont soumis à cette réglementation qui impose **trois types de mesures** :

- **elle encadre la temporalité des éclairages concernés** qui doivent être éteints soit une heure après la fin d'activité ou la fermeture du site (éclairages intérieurs de locaux à usage professionnel, parcs et jardins, chantiers extérieurs; l'obligation d'extinction est de deux heures après la cessation d'activité pour les parkings desservant une activité économique), soit au plus tard à 1 heure du matin (lumières éclairant le patrimoine, éclairages de vitrines de magasin, publicités et enseignes lumineuses⁷⁹). Le réallumage des éclairages est prévu à 7 heures du matin au plus tôt ou 1 heure avant le début de l'activité si celle-ci s'exerce plus tôt. Pour les publicités et les enseignes lumineuses, le réallumage est prévu à 6 heures du matin ;
- **elle fixe des prescriptions techniques visant à ne pas éclairer le ciel⁸⁰, à limiter l'éblouissement latéral, à réduire les températures de couleur⁸¹ et à réguler la densité surfacique du flux lumineux installé⁸² ;**
- elle fixe quelques règles génériques, telles que l'interdiction d'éclairer directement les surfaces en eau.

Plusieurs obstacles affaiblissent toutefois l'efficacité de ces mesures. D'abord, l'application de la législation a été limitée en l'absence de la publication de certains arrêtés d'application⁸³. **Par ailleurs, si des sanctions sont prévues en cas de non respect de la réglementation, dans les faits, elles ne sont jamais appliquées faute de contrôle⁸⁴. Enfin, la réglementation actuelle reste incomplète.** L'éclairage public et privé de la voirie n'est pas soumis à des contraintes d'abaissement des contrastes et sa temporalité est laissée à la discrétion des autorités locales compétentes. Par ailleurs, les événements extérieurs et les équipements sportifs font partie du champ d'application de l'arrêté du 27 décembre 2018 mais ils ne font l'objet d'aucune prescription de temporalité ni de prescription technique⁸⁵. De même, les exigences en matière de lumière émise vers le ciel ne concernent actuellement que l'éclairage de voirie et les parcs de stationnement. Les prescriptions techniques sont étendues à d'autres catégories d'éclairage uniquement dans le périmètre des sites d'observation astronomique et dans les réserves naturelles⁸⁶.

✓ Au niveau local, une recherche croissante de sobriété lumineuse au-delà de la sobriété énergétique

La construction de réservoirs d'obscurité par le biais des trames noires.

La lutte contre la fragmentation des habitats par la lumière artificielle passe en priorité par l'absence d'éclairage et la suppression au maximum des points lumineux dans les zones de réserve naturelle et les zones périurbaines⁸⁷. L'outil "trame noire"⁸⁸, à l'image des trames vertes et bleues⁸⁹ qui permettent aux animaux de se déplacer sans obstacle en milieu terrestre

ou aquatique, vise à recréer une "continuité nocturne", pour préserver la faune et la flore qui ont besoin de la nuit⁹⁰.

Les labels, les chartes et les actions de sensibilisation

Plusieurs labels associatifs ont été développés pour sauvegarder la qualité de l'environnement nocturne⁹¹ tels le label américain « réserve internationale de ciel étoilé » (RICE)⁹² ou encore le label français « villes et villages étoilés »⁹³. Des campagnes de sensibilisation des collectivités et des citoyens sont également organisées par de nombreuses associations⁹⁴ tandis que certaines villes mettent en place des chartes⁹⁵ pour encourager la transition vers une plus grande sobriété, notamment lumineuse.

La rénovation des éclairages publics au service de « l'éclairer juste »⁹⁶.

40 % des installations d'éclairage ont plus de 25 ans et sont particulièrement énergivores. La rénovation de l'éclairage public est censée générer entre 40 et 80 % d'économies⁹⁷, notamment en adoptant la technologie des LED⁹⁸. Compte tenu du poids de l'éclairage public dans la facture d'électricité des communes (37 %) et de l'augmentation des prix de l'énergie, le taux de rénovation des installations d'éclairage extérieur s'est accéléré : il est actuellement de 5 à 7 % par an au lieu de 3 % il y a quelques années⁹⁹. **Pour autant, la sobriété lumineuse ne se résume pas à la sobriété énergétique** et ces notions peuvent même être antagonistes^{100 101}. **La rénovation énergétique ne permet de lutter efficacement contre la pollution lumineuse que si elle s'accompagne d'une réflexion préalable sur la finalité des éclairages et sur leur réelle utilité au regard des besoins avérés des habitants.** La décision d'extinction de l'éclairage des voiries au cœur de la nuit, qui concerne actuellement plus de 12 000 communes, peut d'ailleurs être prise indépendamment de toute rénovation énergétique¹⁰². En revanche, les LED facilitent la mise en place d'un éclairage juste à travers une optimisation de l'éclairage dans la durée et en quantité (gradation de l'intensité lumineuse, utilisation de détecteurs de présence ou d'un éclairage à la demande) et une optimisation des surfaces éclairées, qui limite la diffusion de la lumière dans les milieux naturels adjacents.

Les recommandations

- **Faire respecter la réglementation déjà existante** sur la temporalité et les règles techniques à laquelle doivent se soumettre les éclairages publics et privés.
- **Changer de paradigme en passant d'un éclairage systématique à une adaptation fine selon le contexte** : concevoir l'éclairage à partir des besoins réels des usagers¹⁰³, adapter l'éclairage aux usages¹⁰⁴ puis poser la question du matériel nécessaire.
- **Compléter la législation pour lutter contre les risques de phototoxicité de certaines sources lumineuses¹⁰⁵** et renforcer les politiques de sensibilisation aux dangers de dérégulation du cycle circadien liés à l'exposition à la lumière artificielle en soirée et la nuit.

Sites Internet de l'Office :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opecest/index.asp>

<http://www.senat.fr/opecest>

Références

¹ Cf Conseil général de l'environnement et du développement durable (novembre 2018). À la reconquête de la nuit : la pollution lumineuse, état des lieux et propositions. https://igedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Affaires-0010973/012301-01_rapport-publie.pdf?sessionid=D3B8344A72C967707EC0E66228F46C45

² Audition d'Alain Cabantous du 14 novembre 2022. Jusqu'au milieu du 18^e siècle, les pouvoirs publics, incapables de contrôler les activités nocturnes, ont encouragé le discours sur l'effroi nocturne pour dissuader la population de sortir. Toutefois, face à l'efficacité toute relative de cette politique, une autre approche s'est imposée : faire de la nuit un prolongement du jour. L'éclairage a joué un rôle essentiel pour l'accomplissement de cette politique.

³ L'éclairage artificiel participe à la sécurité physique des personnes, en donnant à voir les obstacles qui se sont multipliés sur la voie publique au fil du temps. En revanche, le lien entre éclairage et délinquance n'est pas tranché scientifiquement. Une première analyse de la Direction centrale de la sécurité civile sur l'impact de l'extinction de l'éclairage public sur la criminalité ne permet pas de constater de tendance particulière d'évolution de la délinquance sur les territoires concernés par les mesures d'extinction. Les représentants de la Direction centrale de la sécurité civile auditionnés le 2 décembre 2022 ont en revanche insisté sur les questions que soulevait la suppression de l'éclairage nocturne sur leurs capacités à intervenir sur les lieux rapidement et en sécurité. Au cours des auditions, plusieurs intervenants ont souligné le fait que les notions de sécurité - fait objectif- et de sentiment de sécurité – fait subjectif - sont souvent confondues dans le débat public et que le manque d'études scientifiques sur le lien entre éclairage et sécurité entretient cette confusion.

⁴ Cf Samuel Challéat (2019). Sauver la nuit. Comment l'obscurité disparaît, ce que sa disparition fait au vivant, et comment la reconquérir. Premier Parallèle.

⁵ L'éclairage public illumine l'espace public, principalement le long de la voirie et sur les places publiques. Il contribue également à la mise en valeur du patrimoine architectural des collectivités publiques ou des espaces.

⁶ Une étude menée par la mairie de Paris en 2018 montre que 58% des lumières émises la nuit sur son territoire proviennent de l'éclairage privé contre 35% pour le domaine public et 7% pour les véhicules. Sur l'île de La Réunion, l'éclairage public représente 45,8% de l'éclairage total, contre 54,2% pour l'éclairage privé (dont 13,7% pour l'éclairage des terrains de sport).

⁷ Cf Jean-Philippe Sibley (2008). Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Synthèse bibliographique. Convention MEEDDAT/MNHN, fiche n°2.

⁸ L'éclairement permet de mesurer la quantité de lumière reçue par une surface. Il correspond au flux lumineux (exprimé en lumen) rapporté à la surface éclairée et est exprimé en lm/m² ou lux.

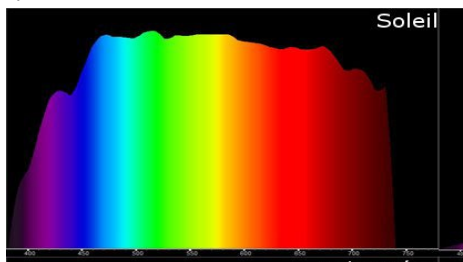
⁹ La luminance représente l'intensité lumineuse rapportée à la surface d'émission de la lumière et se mesure en candela par m² (cd.m²).

¹⁰ Le halo lumineux est accentué par la pollution de l'air qui augmente le nombre de particules en suspension dans l'atmosphère ainsi que par certaines conditions météorologiques (nuages, brume, brouillard).

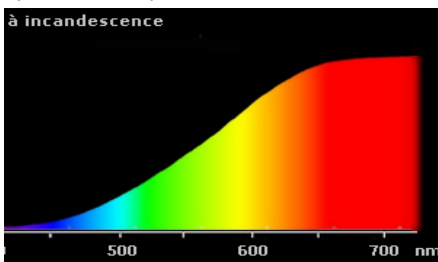
¹¹ Cf Sordello et al (2018). Construire des indicateurs nationaux sur la pollution lumineuse, réflexion préliminaire. UMS Patrimoine naturel. La composition spectrale de la lumière correspond à la proportion des différentes longueurs d'onde dans la lumière émise. Une source lumineuse dont les longueurs d'ondes sont réparties sur l'ensemble du spectre visible pour l'Homme donnera une lumière blanche et, a contrario, colorée si les longueurs d'ondes sont localisées ou si certaines longueurs d'ondes sont manquantes. La température de couleur de la lumière traduit la proportion de bleu et de rouge dans le spectre lumineux. Plus la lumière est froide (forte proportion de bleu), plus la température de couleur (mesurée en kelvin) est haute.

¹² Exemples des spectres :

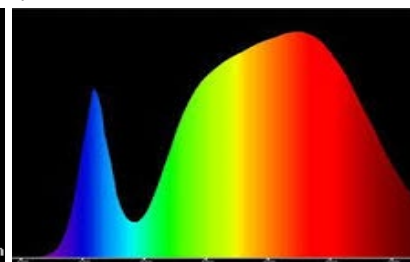
Spectre du soleil



Spectre de lampe à incandescence



Spectre de LED



¹³ Les données satellitaires donnent une indication sur la lumière émise vers le ciel issue de tout éclairage public et privé. Elles sont toutefois soumises à des contraintes temporelles et météorologiques fortes (le satellite doit passer de nuit et par temps clair sur le territoire pour mesurer la lumière artificielle envoyée vers le ciel) tandis que la couverture spectrale permet rarement de prendre en compte la lumière bleue émise par les LED. Ainsi, les capteurs des satellites de la NASA couvrent une plage entre 500 et 900 nm alors que la longueur d'onde du bleu est comprise entre 400 et 500 nm. Il convient de remarquer que le satellite chinois Jilin 1 capte les

bandes spectrales rouge, verte et bleue. Les mesures zénithales au sol par le biais d'un photomètre permettent de mesurer la noirceur du ciel nocturne et, a contrario, le halo lumineux. Pour une analyse fine de la pollution lumineuse, il faudrait néanmoins multiplier le nombre de photomètres réalisant des mesures en continu, tenir compte du relief, mieux intégrer les paramètres météorologiques et élargir la sensibilité spectrale des capteurs. La modélisation permet de simuler la pollution lumineuse produite sur un territoire de manière plus réaliste. Le logiciel Otus développé par le bureau d'études privé DarkSkyLab s'appuie ainsi sur des données portant sur le nombre d'habitants des agglomérations, sur des données de radiance issues du satellite VIIRS-DNB et sur des sources lumineuses géolocalisées (luminaires avec leur puissance et leur ULOR –Upward Light Output Ratio – qui représente la fraction du flux lumineux d'un lampadaire émis au-dessus de l'horizontale). Toutefois, certaines données restent encore parcellaires et hétérogènes comme le nombre et les caractéristiques des éclairages publics nocturnes.

¹⁴ Cf Falchi et al (2016). *The new world atlas of artificial night sky brightness*. *Science Advances*. Vol 2, N° 6

¹⁵ Chiffre du 11 octobre 2021 fourni par l'Observatoire national de la biodiversité qui publie un indicateur de pollution lumineuse. <https://www.ofb.gouv.fr/actualites/un-nouvel-indicateur-pour-mesurer-la-pollution-lumineuse>

¹⁶ La radiance correspond à la quantité de lumière rayonnant d'une surface donnée et perçue par le capteur photographique utilisé dans la prise de vue d'images satellites ou de photographies aériennes.

¹⁷ Kyba et al (2017). *Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent*. *Science Advances*. Vol 3, n° 11

¹⁸ Kyba et al (20 January 2023). *Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022*. *Science* 379. Dans le cadre du projet *Globe at night* (<https://www.globeatnight.org>), plus de 50 000 observations d'étoiles ont été réalisées par des citoyens pour détecter les étoiles les plus sombres visibles à l'œil nu. Plus le ciel est brillant, plus les étoiles doivent également être brillantes pour être détectées. Il a été montré qu'à 18 ans d'intervalle, pour un même site, le nombre d'étoiles détectées est passé de 250 à 100. Ce changement dans le nombre d'étoiles détectées équivaut à une augmentation annuelle de 9,6% de la brillance du ciel.

¹⁹ Les LED (light emitting diodes ou diodes électroluminescentes) sont des composants électroniques capables d'émettre de la lumière lorsqu'elles sont parcourues par un courant électrique. Leur rendement lumineux est très important, ce qui permet, à puissance électrique équivalente, de produire beaucoup plus de lumière qu'une ampoule incandescente ou qu'une ampoule à décharge.

²⁰ L'augmentation de l'efficacité de l'éclairage se traduit par son utilisation plus massive plutôt que par des économies d'énergie.

²¹ La multiplication des points lumineux a également été encouragée par l'introduction d'éclairages faciles et gratuits (LED solaires) dans des endroits où l'implantation d'un éclairage fixe aurait été impossible ou trop coûteux. L'utilisation des LED par les particuliers s'est fortement développée : décorations de Noël, veilleuses de cheminement, lumières de jardin...

²² Chiffres de l'Ademe cités par : <https://www.ecologie.gouv.fr/pollution-lumineuse> Pour autant, le nombre exact de points lumineux n'est pas connu et les chiffres avancés varient entre 9,5 et 11 millions. C'est la raison pour laquelle l'INRAE a été chargé de définir un standard de base de données d'éclairage public ayant pour objectif d'homogénéiser les bases de données existantes et à venir afin de les centraliser au niveau national. Lors de leur audition du 17 octobre 2022, les responsables de ce programme à l'INRAE ont souligné les lenteurs de la mise en place de cette base de données nationale. Il a ainsi fallu un an et demi de concertations pour valider le standard de données et désormais, il faut faire connaître son existence auprès de tous les acteurs de l'éclairage public et les convaincre de l'utiliser.

²³ Le développement de l'urbanisation est également responsable de la multiplication des points lumineux.

²⁴ Chiffres fournis par l'Association française d'éclairage lors de l'audition de ses représentants le 4 novembre 2022.

²⁵ *Revue Ciel et Espace*, août /septembre 2022, numéro 584.

²⁶ Cf Kyba et al (2017). Article précité.

²⁷ Ce sont d'ailleurs les astronomes qui, dès les années 1970, ont commencé à dénoncer la pollution lumineuse.

²⁸ Cf Victor Cazalis et Anne-Caroline Prévot (2019). *Are protected areas effective in conserving human connection with nature and enhancing pro-environmental behaviours?* *Biological conservation*. Volume 236. Les Français qui résident à proximité d'un parc naturel se comportent de manière plus "pro-environnementale" que les autres. Les aires protégées offrent certes des paysages plus « sauvages » qu'ailleurs, mais permettent surtout de stimuler l'intérêt et la sensibilité à la nature de leurs habitants, via de multiples actions de sensibilisation en matière de préservation de l'environnement et de protection de la biodiversité. De fait, la restauration des liens de proximité quotidienne entre humains et non humains apparaît comme une condition de la réalisation d'un soi non « égo-centré ».

²⁹ Cf Challéat et al (2021). *Grasping darkness : the dark ecological network as a social-ecological framework to limit the impacts of light pollution on biodiversity*. *Ecology and Society*. 26 (1)

³⁰ En France, l'éclairage représente entre 10 et 11% de la consommation totale d'électricité.

³¹ Selon l'International Dark-Sky Association, au moins 30% de l'éclairage extérieur serait gaspillé aux Etats-Unis, représentant chaque année un coût de 3,3 milliards de dollars et émettant 21 millions de tonnes de CO₂.

³² L'éclairage serait responsable de l'émission de 1,15 milliard de tonnes de CO₂ par an au niveau mondial et de 5,6 millions de tonnes au niveau de la France. Par ailleurs, dans notre pays, le seul éclairage public émet 670 000 tonnes de CO₂ par an. Il représente 41% de la consommation électrique des communes pour 9,5 à 11 millions de points lumineux.

³³ Selon l'Association française de l'énergie, une LED permet d'économiser jusqu'à 70% d'électricité par point lumineux par rapport à une lampe classique. Le rendement énergétique d'une LED (rapport du flux lumineux émis par la puissance électrique consommée) est actuellement de 130 à 150 lm/W contre 55 à 70 lm/W pour une lampe fluocompacte ou 17 à 30 lm/W pour une lampe halogène.

³⁴ Actuellement, une LED produit la même quantité de lumière que 3 lampes fluocompactes et 15 lampes à incandescence.

³⁵ L'analyse du cycle de vie montre que pour une LED produite en Chine et utilisée en France, 30% des émissions de gaz à effet de serre sont issues de l'extraction des matériaux, 5% de la construction et 65% pour l'utilisation. Pour une lampe à incandescence, on se situe autour de 25% pour l'extraction et la production et 75% pour l'utilisation dans les mêmes conditions.

³⁶ Cf Samuel Challéat (2019). Livre précité.

³⁷ Cf Hölker et al (2010). *Light pollution as a biodiversity threat. Trends in Ecology and Evolution.* 25 (12). Il convient de remarquer que le classement d'une espèce en nocturne ou diurne est une simplification car de nombreuses espèces sont actives au crépuscule et à l'aube, deux moments particulièrement riches en activité. Par conséquent, on trouve au coucher du soleil des espèces diurnes qui finissent leur activité et des espèces nocturnes qui la commencent, et inversement à l'aube.

³⁸ Par ailleurs, beaucoup de déplacements ont lieu la nuit, y compris chez des espèces qualifiées globalement de diurnes (cas de la migration des oiseaux par exemple).

³⁹ Cf Romain Sordello et al (2018), article précité. Certains animaux ont un phototactisme positif : ils sont spontanément attirés vers les sources de lumière. Cela s'explique par le fait que dans une nuit naturelle, ces animaux s'orientent par rapport aux structures naturellement lumineuses. Ainsi, beaucoup d'insectes se repèrent avec la lune. Les coléoptères utilisent le ciel étoilé et en particulier la Voie lactée pour se guider dans leurs déplacements. Pour d'autres espèces au contraire, la lumière est un facteur répulsif. Le phototactisme négatif s'explique par le fait que le système oculaire des animaux nocturnes ne tolère pas la lumière. Par ailleurs, il s'agit d'une stratégie comportementale visant à réduire leur visibilité vis-à-vis de leurs prédateurs. L'effet attractif ou répulsif des sources lumineuses se manifeste avec une quantité très faible de lumière.

⁴⁰ On parle alors de phototropisme, positif pour les tiges par exemple, négatif pour les racines.

⁴¹ Cf Gaston et al (2014). *Human alteration of natural light cycles : causes and ecological consequences.* *Oecologia.* 176 (4).

⁴² Cf Falcón et al (2020). *Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna and Ecosystems.* *Frontiers in Neuroscience.* 14.

⁴³ L'amplitude des régimes naturels de luminosité est gigantesque : 100 000 lux sont mesurés sous le soleil de midi contre 0,1 à 0,3 lux sous une pleine lune par un ciel dégagé.

⁴⁴ Cf Romain Sordello et al (2014). *Effet fragmentant de la lumière artificielle. Quels impacts sur la mobilité des espèces et comment peuvent-ils être pris en compte dans les réseaux écologiques ?* Muséum national d'histoire naturelle, Centre de ressources Trame verte et bleue.

⁴⁵ Certaines études suggèrent qu'un tiers des insectes attirés par des sources de lumière artificielle stationnaires meurent avant le jour, par exténuation ou par prédation, soit entre 400 à 1600 insectes par nuit et par lampadaire. 2000 milliards d'insectes seraient tués par an en France par les éclairages publics. En ce qui concerne les oiseaux migrateurs, l'International Dark-Sky Association estime que 100 millions d'entre eux seraient tués chaque année aux Etats-Unis lors de collisions avec des bâtiments éclairés.

⁴⁶ Cf Sibley (2008). *Impacts de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Synthèse bibliographique.* Convention MEEDDAT/MNHN. En période de nidification, les oiseaux adultes et les juvéniles peuvent être attirés par des sources lumineuses parasites qui les empêchent de regagner leur nid ou de trouver leur direction.

⁴⁷ Cf Sordello et al (2014), rapport précité. Au moment de la dispersion juvénile, les jeunes tortues trouvent la mer en se repérant sur l'horizon nocturne qui est plus clair sur l'eau que sur terre. La pollution lumineuse crée des sources lumineuses parasites qui les désorientent. Les jeunes tortues marines nées sur la plage rampent vers la terre au lieu de se diriger vers la mer en présence d'un littoral éclairé et meurent victimes des prédateurs et de la chaleur après le lever du jour.

⁴⁸ Cf Le Corre et al (2002). *Light-induced mortality of petrels : a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean).* *Biological Conservation.* Volume 105. Cette étude conclut que pour le Pétrel de Bureau, espèce endémique de l'île de La Réunion, la principale menace de mortalité est les lumières artificielles.

⁴⁹ Cf Rich et Longcore (2006). *Ecological consequences of artificial night lighting.* Island Press. Chez la souris à oreille touffue de Darwin, les individus exposés à une augmentation de l'illumination de leur milieu réduisent de 15% leur prise alimentaire, apportent 40% de la nourriture récoltée à leur refuge et perdent 4,4 g de masse corporelle la nuit.

⁵⁰ Cf Azam et al (2016). *Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program.* *Landscape Ecology.* 31 (10). L'éclairage artificiel des « maternités » de chauves-souris a des impacts majeurs sur la santé des juvéniles en désynchronisant la période à laquelle les chauves-souris vont chasser du « pic d'abondance » des insectes.

⁵¹ Cf Avalon et al (2020). *Light pollution is a driver of insect declines.* *Biological Conservation.* Volume 241.

⁵² La pollution lumineuse peut affaiblir le succès de la reproduction en assouplissant les règles de sélection du partenaire. Ainsi, les fortes illuminations peuvent inhiber les chants nuptiaux chez les amphibiens. Les femelles se montrent alors moins sélectives quant au choix de leur partenaire afin d'accélérer la vitesse d'accouplement et limiter le risque de prédation.

⁵³ L'impact de la lumière artificielle sur la masse corporelle varie en fonction des espèces : la masse corporelle augmente chez la souris, elle diminue chez le crapaud buffle.

⁵⁴ Chez les insectes, plusieurs mécanismes peuvent conduire à une diminution de la fécondité : stérilisation des mâles, suppression des phéromones sécrétées par les femelles, oviposition inadéquate, etc.

⁵⁵ Une exposition prolongée à la lumière artificielle retarde le développement d'insectes qui hibernent en tant que juvéniles tels que les criquets, tandis qu'elle accélère le développement de certaines coccinelles multivoltines.

⁵⁶ Cf Touzot et al (2022). Transcriptome-wide deregulation of gene expression by artificial light at night in tadpoles of common toads. *Science of Environment*. 818. Cette étude a montré expérimentalement qu'une exposition à la lumière artificielle entraîne une modification de l'expression des gènes liés à l'immunité chez cette catégorie d'amphibiens.

⁵⁷ Les exemples suivants illustrent les décalages phénologiques que provoque la pollution lumineuse : chant précoce chez certains oiseaux ; modification des dates de débourrement et de jaunissement des feuilles ou encore de floraison ; inhibition de la dormance des végétaux ; avancement (chez la mésange bleue par exemple) ou au contraire étalement des pics de naissances (chez les kangourous par exemple).

⁵⁸ Un débourrement précoce crée un risque de perte accrue en cas de gelée tardive. Par ailleurs, la désynchronisation des pics de naissances avec les pics d'abondance de nourriture entrave le développement des juvéniles. Certaines espèces d'insectes synchronisent également diverses activités liées à leur développement à des périodes précises de la journée : par exemple, la mouche *Drosophila jambulina* éclot avant le crépuscule quand la température et l'humidité sont optimales. De même, les moucheron intertidaux éclosent pendant les périodes de marée basse. Une éclosion au mauvais moment provoquée par la lumière artificielle peut entraîner un dessèchement des mouches et le noyage des mouchérons.

⁵⁹ Cf Romain Sordello (décembre 2017). Pollution lumineuse : longueurs d'ondes impactantes pour la biodiversité. Exploitation de la synthèse bibliographique de Musters et al (2009). UMS Patrimoine Naturel. 220 publications ont été prises en compte et 10 groupes biologiques (plantes, insectes, crustacés, arachnides, poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères hors chauves-souris et chauves-souris). En termes de types d'impact de la lumière artificielle sur le vivant, les auteurs se sont intéressés à quatre catégories regroupant en tout 11 types d'impacts :

- « physiologie », incluant la croissance, la régulation hormonale, l'horloge circadienne et l'horloge circannuelle ;
- « comportement », incluant l'activité, le phototactisme et l'orientation ;
- « écologie/population », incluant la reproduction, la mortalité et la distribution ;
- « interactions entre espèces » correspondant aux rapports proies/prédateurs.

Les résultats ont été synthétisés de la manière suivante :

	Ultraviolet (<380nm)	Violet (380-450nm)	Bleu (450-500nm)	Vert (500-550nm)	Jaune (550-600nm)	Orange (600-650nm)	Rouge (650-750nm)	Infrarouge (>750nm)
Plantes	• Croissance	• Croissance	• Croissance	• Croissance			• Croissance • Horloge circadienne	• Croissance • Horloge circadienne • Horloge circannuelle • Rapports proies/prédateurs
Crustacés				• Phototactisme			• Activité • Phototactisme	
Arachnides		• Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	
Insectes	• Phototactisme • Orientation		• Phototactisme • Orientation	• Phototactisme	• Phototactisme		• Phototactisme	
Amphibiens	• Activité	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Orientation • Phototactisme	• Orientation • Phototactisme	• Phototactisme	
Oiseaux	• Régulation hormonale • Orientation	• Orientation	• Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Orientation	• Orientation	• Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Croissance
Poissons			• Régulation hormonale • Croissance • Phototactisme	• Croissance • Phototactisme	• Phototactisme		• Phototactisme	
Mammifères (hors chauves-souris)	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Régulation hormonale • Horloge circadienne		• Horloge circadienne • Activité • Phototactisme	• Horloge circadienne • Activité • Phototactisme	• Horloge circadienne • Activité	• Horloge circadienne
Chiroptères		• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Activité	• Horloge circadienne	
Reptiles		• Phototactisme	• Phototactisme	• Phototactisme	• Activité			

Tableau 2 : Types d'impacts par plage de longueur d'onde pour chaque groupe biologique d'après Musters *et al.* 2009

Légende :

1 type d'impact	2 types d'impacts	3 types d'impacts	4 types d'impacts
-----------------	-------------------	-------------------	-------------------

SORDELLO R., 2017, UMS PatrimNat. Longueurs d'onde lumineuses impactantes pour la biodiversité. Exploitation des résultats de Musters *et al.*, 2009. Page 11/18

Toutes les longueurs d'onde provoquent des impacts sur la faune ou la flore. Toutefois, lorsqu'on tient compte du nombre de groupes biologiques impactés et du nombre d'impacts observés, le bleu et le rouge ressortent comme les plages de longueurs d'onde les plus problématiques.

⁶⁰ Cf thèse de Clémentine Azam (2016). *Impacts of light pollution on bat spatiotemporal dynamics in France : implications for outdoor lighting planning. Une lampe LED blanche attire 48% d'insectes de plus qu'une lampe à vapeur de sodium haute pression.*

⁶¹ Cf Dixon DR *et al* (2006). *Lunar-related reproductive behaviour in the badger (Meles meles).* Acta Ethol. Certaines espèces réduisent, voire cessent leurs activités sous l'influence de la pleine lune, dont l'éclairage est pourtant très faible (inférieur à 1 lux).

⁶² Par exemple, une activité de nuit est constatée chez les passereaux ou les faucons pèlerins.

⁶³ Cf Davies *et al* (March 20, 2017). *Street lighting changes the composition of invertebrate communities.* Biology Letters.

⁶⁴ C'est le cas notamment au sein des chiroptères : certaines chauves-souris (comme le Petit rhinolophe) ne transitent pas par la lumière ou le font avec un comportement altéré, alors que d'autres chiroptères y parviennent (comme la Pipistrelle commune).

⁶⁵ Cf Davies *et al* (October 23, 2012). *Street lighting changes the composition of invertebrate communities.* Biology Letters. Cette étude a montré comment les éclairages artificiels modifient la composition des communautés d'invertébrés terrestres. Sous les éclairages, deux groupes de carnivores sont surreprésentés : les prédateurs et les charognards (araignées, carabes, cloportes, fourmis et amphipodes). Ce résultat prouve que l'éclairage artificiel a un effet permanent sur la composition des communautés d'invertébrés et ne se contente pas d'attirer certaines espèces la nuit qui se disperseraient de nouveau pendant la journée.

⁶⁶ Cf Knop *et al* (2017). *Artificial light as a new threat to pollination.* Nature. 548. En étudiant 24 heures sur 24 des fleurs de prairies éclairées artificiellement, les chercheurs ont observé une diminution de 62% des visites de pollinisateurs nocturnes comme les papillons de nuit ou certains coléoptères, par rapport à des prairies sans pollution lumineuse. Plus important encore, cela a entraîné une réduction de 13% de la production de fruits d'une espèce de plante locale, le Cirse maraîcher, malgré de nombreuses visites de pollinisateurs diurnes comme les bourdons, les abeilles ou les mouches.

Les chercheurs démontrent que les effets en cascade de la pollution lumineuse ne s'arrêtent pas aux plantes et à leur reproduction, mais peuvent aussi se propager aux pollinisateurs de jour. La pollution lumineuse réduisant le succès reproducteur de plantes sur lesquelles des pollinisateurs diurnes viennent se nourrir, cela pourrait entraîner à terme une baisse des ressources alimentaires disponibles pour les pollinisateurs diurnes.

⁶⁷ Cf Marangoni *et al* (2022). *Impacts of artificial light at night in marine ecosystems – a review.* Global Change Library. Volume 28.

⁶⁸ Cf Duffy *et al* (2015). *Mammalian ranges are experiencing erosion of natural darkness.* Scientific Reports 5, 12042.

⁶⁹ La sécrétion de la mélatonine commence en soirée dès que la rétine est plongée dans l'obscurité. Elle atteint un maximum vers le milieu de la nuit, pour revenir à des niveaux très bas voire indétectables le matin et le reste de la journée avec l'exposition à la lumière.

⁷⁰ L'intensité de la perturbation circadienne semble dépendre de l'intensité lumineuse, du moment et de la durée d'exposition, mais également de l'historique de l'exposition de l'individu à la lumière dans la journée. Il a été montré qu'une intensité de 2 à 10 lux ou une exposition de 5 minutes à une lumière de 200 lux sont suffisantes pour empêcher la sécrétion de la mélatonine et inhiber le sommeil (cf Prayag et al (2019). Melatonin suppression is exquisitely sensitive to light and primarily driven by melanopsin in humans. *Journal of Pineal Research*. Volume 6). Ces intensités sont bien plus basses que celles auxquelles nous sommes exposés au quotidien à travers nos appareils domestiques. Or, il faut 45 minutes à la mélatonine pour qu'elle revienne au niveau où elle aurait dû se trouver avant interruption par la lumière (cf Gronfier et al (July 2004). Efficacy of a single sequence of intermittent bright light pulses for delaying circadian phase in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 287). La perturbation des rythmes circadiens liée notamment à la suppression de la mélatonine est encore plus marquée chez les enfants, les adolescents et les jeunes adultes (jusqu'à 20 ans) en raison de la transparence de leur cristallin qui laisse passer plus de lumière bleue que chez les adultes. L'utilisation très répandue d'appareils à écrans LED chez les adolescents, les changements comportementaux, hormonaux et circadiens qui interviennent à cet âge expliquent également leur sensibilité particulière aux perturbations des rythmes circadiens. Enfin, certains jouets censés endormir les bébés ou certaines veilleuses pour enfants diffusent de la lumière bleue et font ainsi courir le risque d'une altération du sommeil en perturbant la production de mélatonine.

⁷¹ Cf J.L Dufier, Y. Touitou, au nom d'un groupe de travail rattaché à la commission XIV (Déterminants de santé, Prévention, Environnement), Académie nationale de médecine. Rapport 21-10. Pollution lumineuse et santé publique. L'association entre l'exposition à la lumière artificielle nocturne, l'horloge interne et la mélatonine et le risque significativement augmenté de cancer du sein chez la femme en cas de travail de nuit a été montré dans l'étude épidémiologique « Nurse Health Study » (115 000 infirmières américaines suivies pendant 10 ans). Elle a révélé l'augmentation significative (79%) du risque relatif de cancer du sein chez les femmes travaillant au moins 3 nuits par mois pendant 20 ans. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé en 2007 le travail posté et/ou de nuit dans le groupe 2A des cancérigènes probables car ils impliquent une désynchronisation circadienne. La conclusion de l'avis de l'Anses (Evaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit, juin 2016), basée sur un nombre d'études épidémiologiques trois fois plus important, est similaire mais elle atteint un niveau de preuve plus élevé.

⁷² Cf Anses (avril 2019). Effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des diodes électroluminescentes (LED). Chez l'Homme, une corrélation a été établie entre la lumière artificielle et l'obésité ou la sensibilité à certains cancers hormonodépendants (sein, prostate).

⁷³ Les LED présentent trois caractéristiques (audition de l'Anses du 18 octobre 2022) : le spectre de lumière émis par les LED est généralement riche en lumière bleue ; en raison de leur forte luminance, les lumières à LED peuvent être plus éblouissantes que les lumières émises par d'autres technologies ; enfin, les LED sont très réactives aux fluctuations de leur courant d'alimentation. Ainsi, des variations de l'intensité lumineuse peuvent apparaître selon la qualité du courant injecté.

⁷⁴ Cf J.L Dufier et Y. Touitou (rapport 21-10 précité) : "La phototoxicité rétinienne résulte de lésions photochimiques au niveau cellulaire sous l'effet d'une exposition chronique au polluant lumineux sans lésions visibles au fond d'oeil".

⁷⁵ En 2017, l'Anses a commandé une étude au Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) sur les feux de croisement qui a conclu que les nouveaux feux de croisement à LED appartiennent au groupe de risque 2 et qu'il y a un risque phototoxique dès que la durée d'exposition dépasse 20 secondes (de manière continue ou cumulative). Les bébés et les très jeunes enfants sont particulièrement concernés car ils n'ont pas encore le réflexe d'éviter les sources lumineuses. Plus généralement, les yeux des enfants dans une poussette sont à la même hauteur que les phares des voitures et peuvent être amenés à subir l'éblouissement de phares de files de voitures circulant à basse vitesse (à un passage piéton par exemple).

⁷⁶ En effet, les nourrissons, enfants, adolescents et jeunes adultes ont un cristallin clair, qui filtre moins les rayons lumineux. Les femmes enceintes sont aussi à risque en raison de potentiels effets sanitaires sur l'enfant à naître.

⁷⁷ Notamment les personnes aphakes -sans cristallin- ou pseudo-phakes -ayant un cristallin artificiel. Les travailleurs de nuit et les personnes présentant des troubles du sommeil sont également à risque.

⁷⁸ Ainsi, l'arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses porte sur l'éclairage extérieur destiné à favoriser la sécurité des déplacements des personnes et des biens et le confort des usagers (hors dispositifs d'éclairage et de signalisation des véhicules) ; l'éclairage de mise en valeur du patrimoine ainsi que des parcs et jardins ; l'éclairage des équipements sportifs de plein air ; l'éclairage des bâtiments, recouvrant à la fois l'illumination des façades des bâtiments et l'éclairage intérieur émis vers l'extérieur de ces mêmes bâtiments ; l'éclairage des parcs de stationnement non couverts ; les éclairages temporaires (événements extérieurs et chantiers en extérieur). Par ailleurs, le décret n° 2022-1294 du 5 octobre 2022 portant modification de certaines dispositions du code de l'environnement relatives aux règles d'extinction des publicités lumineuses et aux enseignes lumineuses harmonise les règles d'extinction des publicités lumineuses et des enseignes lumineuses.

⁷⁹ Le décret n° 2022-1294 du 5 octobre 2022 précité étend l'obligation d'extinction aux publicités lumineuses supportées par le mobilier urbain tout en repoussant la date d'application de cette mesure au 1^{er} juin 2023. Quant aux publicités lumineuses supportées par le mobilier urbain affecté aux services de transport (abris bus notamment), elles peuvent rester allumées durant les heures de fonctionnement desdits services. Au cours de l'audition des représentants de la direction de l'habitat, de l'urbanisme et du patrimoine le

9 janvier 2023, il a été précisé que les panneaux d'information communaux entrent dans le champ d'application du décret n° 2022-1294 dans la mesure où ils sont considérés, en fonction de leur contenu, soit comme du mobilier urbain, soit comme des publicités lumineuses. Enfin, il a été rappelé que l'article 18 de la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets permet aux collectivités locales disposant d'un règlement local de publicité de réglementer les publicités lumineuses et les enseignes lumineuses situées à l'intérieur des vitrines et destinées à être visibles de l'extérieur en matière d'horaires d'extinction, de surface, de consommation énergétique et de prévention des nuisances lumineuses.

⁸⁰ D'ici le 1^{er} janvier 2025, tous les luminaires destinés à favoriser la sécurité des déplacements des personnes et des biens sur l'espace public et privé ainsi que les luminaires des parcs de stationnement non couverts avec un ULR (Upward Light Ratio : il s'agit du rapport entre le flux sortant des luminaires qui est émis dans l'hémisphère supérieur et le flux total sortant des luminaires) de plus de 50% devront être remplacés par des luminaires conformes. Par ailleurs, les luminaires neufs utilisés pour l'éclairage public et privé des voiries devront avoir un ULR de moins d'1%.

⁸¹ Compte tenu du danger que représente la lumière bleue pour la rétine, la température de couleur est limitée à 3000 Kelvins pour tous les éclairages extérieurs, à 2700 Kelvins dans les zones « agglomération » des cœurs des parcs nationaux et à 2400 Kelvins dans les réserves naturelles et dans les zones « hors agglomération » des cœurs des parcs nationaux.

⁸² Dans cet objectif, une nouvelle valeur a été créée : la densité surfacique de flux lumineux installé (DSFLI), qui correspond au nombre de lumen total de tous les luminaires d'une même installation, divisé par la surface à éclairer. Elle se mesure en lumen par m². L'arrêté du 27 décembre 2018 permet d'installer 35 lumen par m² de surface à éclairer pour l'éclairage des voies de circulation. Pour les parkings, les illuminations des façades des bâtiments non résidentiels et les éclairages de parcs et de jardins, l'arrêté précité prévoit une DSFLI inférieure à 25 lumen par m² en agglomération et inférieure à 20 lumen par m² hors agglomération. C'est une sorte de « dotation » autorisée qui a pour conséquence une obligation de baisser les niveaux d'éclairage (lux). Contrairement au lux, la DSFLI ne se mesure pas. Elle se calcule sur plan à partir de l'étude d'éclairage, ce qui évite aux autorités de contrôle de devoir faire des mesures d'éclairage de nuit qui sont longues et coûteuses. Toutefois, à l'heure actuelle, les modalités de calcul ne sont pas normalisées et chaque bureau d'étude peut calculer la DSFLI différemment.

⁸³ Les lois dites Grenelle 1 du 3 août 2009 et Grenelle 2 du 10 juillet 2010 ont inscrit la prévention, la réduction et la limitation des nuisances lumineuses dans le code de l'environnement. Le décret n° 2011-831 du 12 juillet 2011 relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses confiait au ministre chargé de l'environnement le soin de limiter le fonctionnement dans le temps de sept catégories d'installations lumineuses et de fixer des prescriptions techniques pour ces dernières. Toutefois, les arrêtés d'application n'ont pas été adoptés et il a fallu attendre la condamnation de l'Etat en 2018 par le Conseil d'Etat pour que soit publié l'arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses. En revanche, l'arrêté fixant les seuils maximaux de luminance des enseignes et des publicités lumineuses et faisant référence à l'efficacité lumineuse des sources utilisées n'a toujours pas été publié. Selon les informations fournies par la direction de l'habitat, de l'urbanisme et du patrimoine du ministère de la transition écologique, deux versions (une version « basse » proche des pratiques actuelles des professionnels et une version « haute », plus ambitieuse en matière de limitation des nuisances des publicités et enseignes lumineuses) de cet arrêté auraient été rédigées et seraient en attente de validation au cabinet du ministre de la transition écologique. Le processus de décision impliquerait également un dialogue préalable avec le ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique. Dans le 4^{ème} plan national santé environnement, le gouvernement s'était engagé à encadrer les nuisances liées à la publicité et aux enseignes lumineuses pour la santé et l'environnement en fixant des normes techniques pour l'implantation d'une publicité ou d'une enseigne lumineuse. L'obligation d'extinction des publicités et enseignes lumineuses a été instaurée par le décret n° 2012-118 du 30 janvier 2012 relatif à la publicité extérieure, aux enseignes et aux pré-enseignes. Son application a été très variable, notamment en l'absence de contrôle de la part des autorités compétentes. Un nouveau décret n° 2022-1294 a été publié le 5 octobre 2022 qui harmonise les règles d'extinction des publicités lumineuses, que la commune soit couverte ou non par un règlement local de publicité et quelle que soit la taille de l'unité urbaine à laquelle elle appartient.

⁸⁴ Une étude de septembre 2022 de la direction interministérielle de la transformation publique a cherché à comprendre pourquoi la réglementation sur l'extinction nocturne des commerces était peu appliquée, alors même qu'elle date de 2013. L'étude fait les constats suivants. D'une part, les commerçants manquent de motivation pour éteindre leurs devantures et enseignes (la biodiversité est un non-sujet, l'équipement en technologie LED est considéré comme permettant de limiter l'impact du commerce sur l'environnement, les modes de gestion de l'éclairage sont souvent complexes alors que la motivation à allumer est élevée car elle est considérée comme un geste publicitaire). D'autre part, la réglementation est mal connue et apparaît difficile à appliquer : non seulement le contrôle de l'extinction nocturne est difficile et fastidieux puisqu'il nécessite un passage entre 1h et 7h du matin, mais il ne constitue pas une priorité pour les collectivités qui ne souhaitent pas entrer en conflit avec les commerçants. L'étude propose d'agir à la fois sur les collectivités et sur les commerçants pour encourager l'extinction nocturne des commerces. Il s'agit de sensibiliser les collectivités sur la réglementation et sur leur rôle à travers un support d'information simple et facilement accessible, de mettre en avant les bénéfices réputationnels à agir, dans la mesure où les Français sont très majoritairement favorables à l'extinction nocturne des commerces, et de fournir aux collectivités des outils pour communiquer avec les commerçants (guide pratique, courriers types, etc.). En ce qui concerne l'action en direction des commerçants, il convient de leur rappeler la réglementation et les sanctions en cas de son non-respect, de les sensibiliser à des moments clés (construction ou création de nouveaux magasins, demandes d'aides à l'installation auprès de la mairie), voire de les accompagner au changement par des conseils et aides personnalisés (installation de minuteurs, intervention sur le système d'éclairage).

⁸⁵ À l'exception, pour les installations sportives, d'avoir une température de couleur de 2700 K en agglomération et de 2400 K hors agglomération dans les réserves naturelles.

⁸⁶ Par conséquent, en dehors du périmètre des sites d'observation astronomique et des réserves naturelles, aucune exigence sur la lumière émise vers le ciel n'est imposée aux éclairages extérieurs de mise en valeur du patrimoine (alors qu'ils se caractérisent tous par un éclairage du bas vers le haut), aux éclairages des parcs et jardins, aux installations sportives ou encore aux illuminations des façades des bâtiments non résidentiels.

⁸⁷ Cf audition de Christian Kerbiriou, Kevin Barré et Isabel le Viol le 21 octobre 2022.

⁸⁸ Cf Challéat et al (2021). Article précité. La trame noire est basée sur le concept du réseau écologique sombre qui souligne l'importance de l'obscurité comme nouvelle dimension de la « connectivité écologique ». Ce faisant, il place la préservation de la biodiversité ordinaire au premier plan de la lutte contre la pollution lumineuse. En intégrant les processus écologiques associés aux paysages nocturnes dans la planification de la conservation de la biodiversité, il offre une double perspective pour une préservation holistique de l'environnement nocturne : lutter contre l'homogénéisation des paysages et la fragmentation des habitats d'une part, et insérer les théories de la conservation dans les pratiques ordinaires d'aménagement du territoire d'autre part.

⁸⁹ Cf article L. 371-1 du code de l'environnement qui dispose : « la trame verte et la trame bleue ont pour objectif d'enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural ainsi que la gestion de la lumière artificielle la nuit ».

⁹⁰ De nombreux territoires ont déjà identifié leur trame noire, mais le cadre législatif et réglementaire reste précaire faute de mention de la trame noire dans le code de l'environnement.

⁹¹ Couramment utilisée comme commodité de langage, la notion d'environnement nocturne est également un thème de recherche à part entière. Cf les travaux de l'observatoire de l'environnement nocturne du CNRS sous la direction de Samuel Challéat. https://observatoire-environnement-nocturne.cnrs.fr/fr_fr/

⁹² Ce label, délivré par l'International Dark-Sky Association et fondé sur une logique d'exceptionnalité, distingue des territoires dans lesquels des mesures ont été prises afin de préserver la qualité remarquable du ciel étoilé. A l'heure actuelle, quatre territoires ont été labellisés en France : la RICE du pic du Midi, la RICE du parc national des Cévennes, la RICE Alpes-Azur Mercantour et la RICE du parc naturel régional des Mille vaches en Limousin. Concrètement, la stratégie des RICE vise à définir une zone cœur dotée d'une qualité de ciel exceptionnelle et une zone tampon dans lesquelles les communes s'engagent à améliorer leur éclairage public et à préserver l'environnement nocturne.

⁹³ Ce label, délivré par l'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes, valorise les actions menées par les communes et les territoires pour assurer une meilleure qualité de la nuit et de l'environnement nocturne.

⁹⁴ « La nuit des étoiles » organisée chaque année par l'Association française d'astronomie ou encore « Le jour de la nuit » de l'association Agir pour l'environnement pour ne citer que ces deux exemples.

⁹⁵ On peut citer la charte « Tous unis pour plus de diversité » lancée par la métropole de Strasbourg.

⁹⁶ Cf Ademe, AFE, Syndicat de l'éclairage (2010). Eclairer juste. https://www.syndicat-eclairage.com/wp-content/uploads/2014/09/eclairer_juste.pdf

⁹⁷ Selon le plan énergétique du 6 octobre 2022 annoncé par le gouvernement, la mise à niveau du parc de l'éclairage public français, en passant à des éclairages LED avec pilotage automatisé, permettrait une économie d'énergie dès les premiers mois de 40 à 80% avec un retour sur investissement complet en 4 à 6 ans.

⁹⁸ Le taux de pénétration des LED en France pour l'éclairage public est estimé à 15% (2019). Plus de 99% des rénovations des systèmes d'éclairage et des nouvelles installations sont faites en LED.

⁹⁹ Cf audition de l'Association française de l'éclairage du 4 novembre 2022 : sur les 10 millions de points lumineux du parc de l'éclairage français, 45% ont plus de 25 ans.

¹⁰⁰ Deux mécanismes entrent en jeu : l'effet rebond (la faible consommation d'énergie par les LED incite à multiplier les points lumineux) ; le fait que l'efficacité énergétique des LED est inversement proportionnelle à leur impact sur la biodiversité en raison de leur forte proportion de bleu. Une étude s'est intéressée aux différents scénarios d'éclairage pour observer la manière dont les changements technologiques répondant à des objectifs d'économie d'énergie pourraient affecter la connectivité chez les pipistrelles. Un des scénarios correspond à une modification de l'ensemble des éclairages comportant de nombreuses lampes à sodium, par des LED ayant une température de couleur de 3000 K tout en gardant le même niveau d'éclairement et le même nombre de points lumineux. Avec ce scénario, les possibilités de déplacement pour les chiroptères diminuent dans les trois villes testées (Paris, Lille, Montpellier). En effet, remplacer l'éclairage actuel par ce modèle de LED augmenterait significativement la quantité de lumière bleue émise. Or, les chauves-souris sont particulièrement sensibles à ces longueurs d'onde. Le développement des LED doit donc s'accompagner d'une réduction de leur température de couleur. Pour autant, le passage d'une LED de 3000 K à une LED de 2200 K par exemple entraîne une perte de rendement énergétique de 30%.

¹⁰¹ La possibilité de mobiliser des certificats d'économie d'énergie (CEE) est un critère déterminant de l'acte d'achat pour de nombreux gestionnaires d'éclairage souhaitant moderniser leur parc. Or, l'efficacité énergétique est le critère central de ce dispositif, ce qui exclut

de fait aujourd'hui les alternatives à la LED « standard », comme la LED « ambrée », beaucoup plus chaude, ou encore les lampes à sodium haute pression à 1800 K (soit une température de couleur moins élevée que les LED), considérées comme moins impactantes sur la biodiversité, mais également moins efficaces énergétiquement. Le gouvernement a toutefois lancé en août 2022 le Fonds vert dont le but est d'accélérer la transition écologique dans les territoires. Ses aides (mobilisables à partir de janvier 2023) peuvent être utilisées pour la rénovation des parcs de luminaires d'éclairage public à condition qu'ils contribuent à la protection de la biodiversité, la réduction de la pollution lumineuse (trame noire) et à la sobriété énergétique. Parmi les critères d'éligibilité figure « une plus grande protection de la biodiversité : la température de couleur des luminaires installés ne doit pas dépasser les 2700 K en agglomération et hors agglomération et ne doit pas excéder 2400 K dans les espaces protégés au sens de l'article 4 de l'arrêté du 27 décembre 2018 ». Le Fonds vert permet ainsi de prendre en compte, dans le débat sur l'efficacité énergétique, l'impact des technologies sur la biodiversité.

¹⁰² De nombreuses solutions de réduction de la pression lumineuse ne nécessitent pas le passage aux technologies LED, comme l'abaissement des puissances installées lors d'une opération de relampage de luminaires au sodium haute pression ou le ré-encastrage de la source lumineuse dans la lanterne pour améliorer la photométrie du luminaire.

¹⁰³ La protection de l'environnement nocturne doit se faire de manière territorialisée, en tenant compte des besoins, mais également des appréhensions, qu'elles soient justifiées ou non scientifiquement, des citoyens qui varient selon le sexe et les zones habitées (les femmes et les urbains exprimant une plus grande inquiétude face à l'obscurité que les hommes et les ruraux). Toutefois, plusieurs études ont montré qu'il y avait une réelle adhésion des citoyens pour réduire l'intensité lumineuse et le nombre de points lumineux. En ce qui concerne l'extinction au cœur de la nuit, la plage horaire entre 1h et 5h du matin paraît la plus facile à appliquer. Dans un souci d'efficacité et d'acceptabilité, l'élargissement des créneaux d'extinction doit être réalisé progressivement, en ciblant d'abord les zones dans lesquelles l'extinction fait le plus consensus, à savoir les zones rurales et périurbaines.

¹⁰⁴ Une telle politique doit être menée en concertation avec les habitants ainsi qu'avec les autorités chargées d'assurer la sécurité des personnes et la sécurité routière.

¹⁰⁵ Les valeurs limites d'exposition (VLE) à la lumière bleue sont définies au niveau international par la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP). Au cours de leur audition, les représentants de l'Anses ont fait remarquer que la dernière actualisation des VLE datait de 2013 et que la sensibilité particulière des enfants et jeunes adultes n'était pas prise en compte. Le 4ème plan national santé environnement prévoit l'interdiction par la France, sous réserve de compatibilité avec le droit européen, des LED de groupe de risque supérieur à 1 dans les articles à destination des enfants et dans les lampes frontales. Par ailleurs, il précise que la France portera au niveau européen une demande d'interdiction des phares automobiles à LED de groupe de risque supérieur à 1.

Personnes consultées

(par ordre de rencontre avec le rapporteur)

M. Jean-Louis Dufier, membre de l'Académie nationale de Médecine, professeur honoraire de l'Université Paris V

M. Romain Sordello, expert pollution lumineuse, PatriNat OFB-CNRS-MNHN

M. Didier Combes, ingénieur de recherche, et Mme Elzbieta Frak, chargée de recherche en écophysiologie végétale, UMR Prairies et plantes fouragères, Inrae

M. Philippe Bodenez, chef du service des risques sanitaires liés à l'environnement, des déchets et de la pollution diffuse, M. Philippe Maraval, chef de la mission bruit et agents physiques, service des risques sanitaires liés à l'environnement, des déchets et des pollutions diffuses (Direction générale de la prévention des risques) et M. Frédéric Leray, adjoint au chef de la mission bruit et agents physiques (Direction générale de la prévention des risques), Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires

Mme Léa Tardieu, chargée de recherche à Inrae, UMR TETIS, associée à l'UMR CIREN, Mme Chloé Beaudet, doctorante en économie de l'environnement à AgroParisTech, et Mme Jennifer Ansallem, ingénieure d'étude à Inrae

M. Olivier Merckel, chef de l'unité évaluation des risques liés aux agents physiques, Mme Dina Attia, chef de projet scientifique de l'unité évaluation des risques liés aux agents physiques et Mme Sarah Aubertie, chargée des relations institutionnelles, Anses

M. Jean-Philippe Delorme, directeur du Parc national de La Réunion

M. Christian Kerbiriou, maître de conférence, Sorbonne Université, M. Kevin Barre, post-doctorant, et Mme Isabelle Le Viol, maître de conférences au Muséum National d'Histoire Naturelle, Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO - UMR 7204 - MNHN-CNRS-SU)

M. Samuel Busson, responsable d'études biodiversité et foncier, et M. Paul Verny, responsable de la mission "éclairage, maîtrise de l'énergie et des nuisances liées à la lumière", Cerema Méditerranée

Mme Magalie Franchomme, maîtresse de conférences en géographie, Université de Lille

M. Sébastien Vauclair, président, DarkSkyLab

M. Samuel Challéat, chargé de recherche au CNRS (géographie de l'environnement, UMR5602 GÉODE, Toulouse) et coordinateur de l'Observatoire de l'environnement nocturne (CNRS), et M. Dany Lapostolle, maître de conférence HDR, Université de Bourgogne Franche-Comté, rattaché à l'Unité mixte de recherche 6049 ThéMA (Théoriser et Modéliser pour Aménager)

M. Matthieu Renaud, astrophysicien, chercheur au CNRS/IN2P3, rattaché au Laboratoire Univers et Particules de Montpellier (LUPM)

M. Claude Gronfier, chercheur, Inserm

M. Hervé Charrue, directeur général adjoint Recherche et Développement, et M. Christophe Martinsons, ingénieur de recherche et d'expertise, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

Mme Melina Roth, directrice du Parc national des Pyrénées, et Mme Sterenn Poupard, chargée de mission et coordinatrice de la Réserve Internationale de Ciel Etoilé (RICE) Alpes Azur Mercantour, Communauté de Communes Alpes d'Azur

M. Gaël Obein, président de l'Association française de l'éclairage (AFE), maître de conférences HDR au CNAM, docteur en « Systèmes Physiques et Métrologie », responsable d'étalonnage pour la photométrie et la spectrophotométrie au Laboratoire commun de Métrologie (LNE-CNAM), président de CIE France, Mme Virginie Nicolas, présidente de l'Association des concepteurs lumière et éclairagistes (ACE), chef de projet à l'Agence CONCEPTO, M. Roger Couillet, secrétaire de l'AFE, animateur GT éclairage extérieur de l'AFE, responsable installations d'éclairage extérieur Ville de Douai, M. David Lelievre, administrateur de l'AFE, président du groupe AGORA, Mme Marie-Pierre Alexandre, directrice générale de l'AFE, et M. Alain Tremeau, directeur de l'innovation pour la société Eclatec

M. Olivier Las Vergnas, président, et M. Eric Piednoël, directeur général, Association Française d'Astronomie (AFA)

M. Dany Joly, responsable du service Eclairage Public et Infrastructures de Communications Electroniques (EPICE), Direction de l'espace public, DGD Fabrique de la Ville écologique et solidaire, Nantes Métropole, et Mme Pauline Chevalier, chargée de mission Biodiversité et Natura 2000, Direction de l'Environnement (Service Nature, Mer et Biodiversité), Métropole Nice Côte d'Azur

M. Thierry Lengagne, chercheur au CNRS, Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés (UMR 5023), Université Lyon 1, et M. Jean Secondi, enseignant-chercheur (maître de conférence), Université d'Angers, UMR 5203 LEHNA, Lyon 1

M. Alain Cabantous, professeur émérite en histoire moderne, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Mme Audrey Roncigli, cheffe de cabinet du Délégué interministériel à la Transformation Publique, et Mme Mariam Chammat, docteur en neurosciences cognitives et directrice de projet en "Sciences Comportementales" au sein de la Direction Interministérielle de la Transformation Publique

M. Christophe Najdovski, adjoint à la Maire de Paris chargé des espaces verts, de la végétalisation de l'espace public, de la biodiversité et de la condition animale, M. Olivier Chrétien, chef du pôle qualité de l'environnement à la Direction de la Transition écologique et du Climat (DTEC), M. Teddy Tisba, responsable de la section de l'éclairage public - Service du patrimoine de voirie - Direction de la voirie et des déplacements (DVD), et Mme Manon Thore, cheffe de cabinet de Christophe Najdovski et conseillère technique chargée des sujets de biodiversité et de condition animale, Ville de Paris

M. Georges Zissis, professeur des universités, Université Toulouse III - Paul Sabatier, responsable du groupe de recherche Lumière et Matière du laboratoire LAPLACE

Mme Anne-Marie Ducroux, présidente d'honneur, Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes (ANPCEN)

M. Alexandre Bonneville, commissaire divisionnaire, sous-directeur adjoint des missions de sécurité, et M. Philippe Payn, commandant divisionnaire fonctionnel, adjoint au chef de la division de la prévention et des partenariats, sous-direction des missions de sécurité à la Direction centrale de la sécurité publique

M. Jimmy Dubard, responsable du département Photonique à la Direction de la Métrologie Scientifique et Industrielle, M. Romain Chasseigne, chef de projets "cadastres énergétiques", responsable de l'exécution et du suivi de projets techniques en lien avec l'amélioration de l'efficacité énergétique des territoires (thermographie aérienne, cadastres solaires, cartographie aérienne des éclairages extérieurs) au Laboratoire national de métrologie et d'essais, et M. Jorge García-Márquez, Ph.D., HDR, Université de Versailles Saint-Quentin, ingénieur de recherche au Département photonique au sein de l'équipe de Thermographie Aérienne

M. Patrick Brie, adjoint au sous-directeur de la qualité du cadre de vie, Mme Dorine Laville, cheffe du bureau des paysages et de la publicité, Mme Anne Marvie, adjointe à la cheffe du bureau des paysages et de la publicité, M. Emmanuel de Lanversin, adjoint au directeur, et Mme Marine Gaignard Vuillemin, cheffe de cabinet, DHUP, Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et le Ministère de la Transition énergétique

Contributions écrites

MM Samuel Busson, responsable d'étude biodiversité et foncier, et Paul Verny, responsable de la mission « éclairage, maîtrise de l'énergie et des nuisances liées à la lumière » au Cerema

Mme Florence Guillaume, Déléguée interministérielle à la Sécurité routière