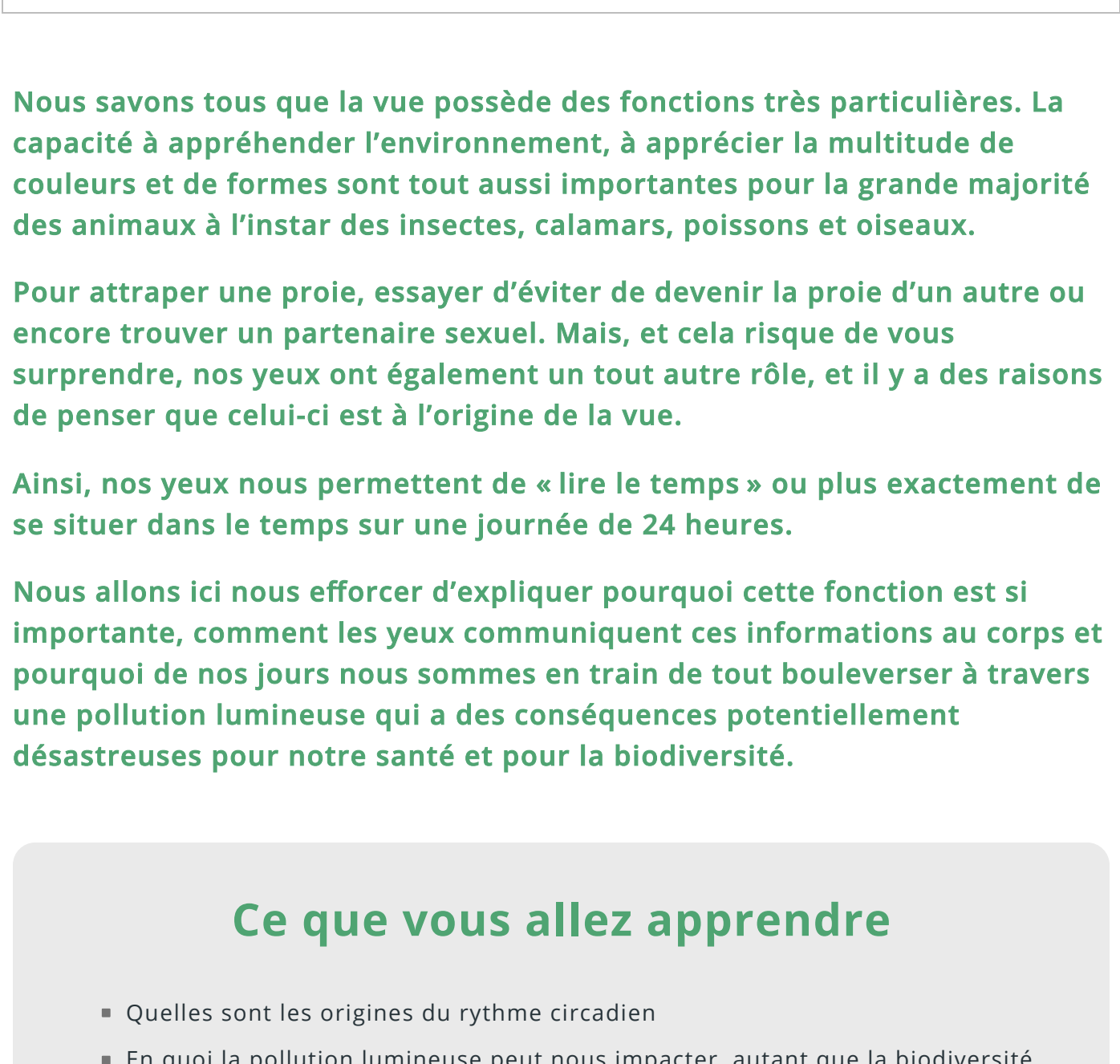


Pollution lumineuse : quelles sont les conséquences sur le vivant ?



David Hicks
Directeur de recherche — INSERM



La pollution lumineuse est omniprésente en ville
©Wolters

Expertise et recherche	20 minutes
17/05/2019	0

Nous savons tous que la vue possède des fonctions très particulières. La capacité à appréhender l'environnement, à apprécier la multitude de couleurs et de formes sont tout aussi importantes pour la grande majorité des animaux à l'instar des insectes, calmars, poissons et oiseaux.

Pour attraper une proie, essayer d'éviter de devenir la proie d'un autre ou encore trouver un partenaire sexuel. Mais, et cela risque de vous surprendre, nos yeux ont également un tout autre rôle, et il y a des raisons de penser que celui-ci est à l'origine de la vue.

Ainsi, nos yeux nous permettent de « lire le temps » ou plus exactement de se situer dans le temps sur une journée de 24 heures.

Nous allons ici nous efforcer d'expliquer pourquoi cette fonction est si importante, comment les yeux communiquent ces informations au corps et pourquoi de nos jours nous sommes en train de tout bouleverser à travers une pollution lumineuse qui a des conséquences potentiellement désastreuses pour notre santé et pour la biodiversité.

Ce que vous allez apprendre

- Quelles sont les origines du rythme circadien
- En quoi la pollution lumineuse peut nous impacter, autant que la biodiversité
- Quelle découverte sur la vue nous a permis de mieux comprendre ce rythme

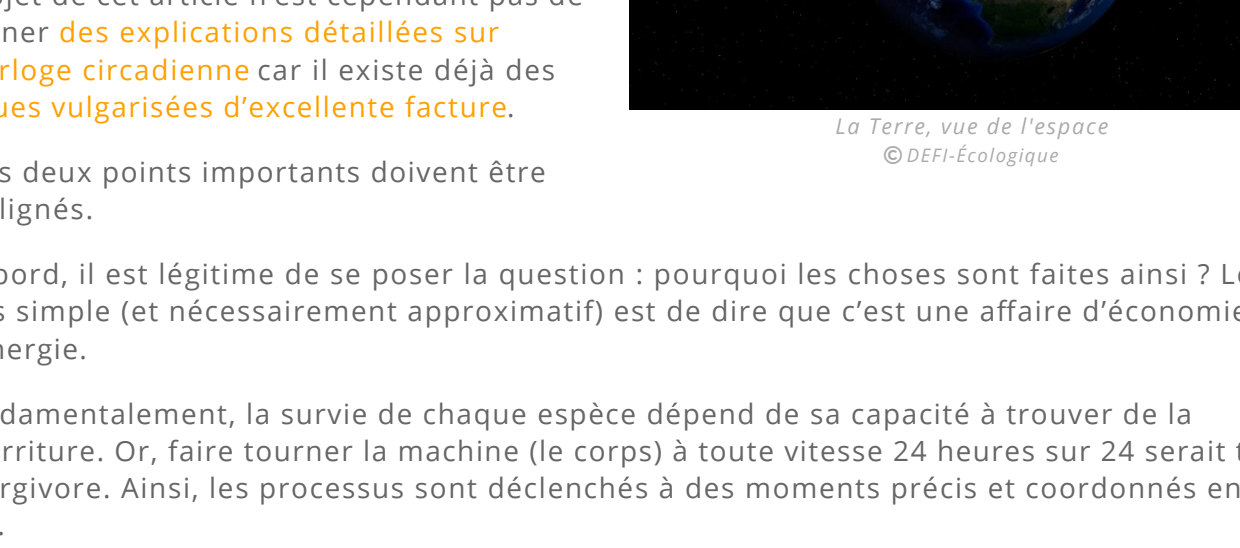
David Hicks
Il est difficile de comprendre précisément à quel point la vie est rythmique, même si ce fait passe inaperçu la majorité du temps.

CLICK TO TWEET

Le cycle jour-nuit, l'alternance perpétuelle depuis l'aube du temps

La vie, apparue il y a presque 4 milliard d'années, a dû évoluer dans un contexte particulier : le changement éternel entre jour et nuit en raison de la rotation de la Terre autour de son axe.

À une époque très lointaine, la surface de la Terre était particulièrement inhospitalière (beaucoup de lumière ultra-violette car la couche d'ozone n'existait pas encore).



Rotation de la terre autour du soleil, de la lune autour de la Terre et axe terrestre
©DEFI-Écologique

Les organismes unicellulaires présents dans les mers chaudes subissaient ces éléments violents, particulièrement dangereux au moment de la réplication. Ceci en raison du fait que lors de la division cellulaire l'ADN (qui porte le code génétique) est beaucoup plus vulnérable aux impacts de la lumière UV qui provoquent des cassures et des mutations.

Il y a raison de penser que cette pression environnementale a conduit à la sélection d'organismes (dont la division se faisait uniquement au cours de la nuit, lorsqu'il n'y avait pas de danger UV).

Mais ces petits organismes unicellulaires ne pouvaient pas réagir passivement aux changements jour-nuit, il fallait se préparer en amont.

En conséquence, l'évolution a favorisé l'émergence d'une espèce d'horloge moléculaire, capable de « savoir » le moment de la journée et d'anticiper les changements avant qu'ils ne se produisent.

L'horloge biologique était née !

Victor Hugo
Chaque homme dans sa nuit s'en va vers sa lumière

CLICK TO TWEET

L'horloge circadienne, un chef d'orchestre interne

En faisant un petit retour dans le temps d'un milliard années et en suivant l'évolution des organismes multicellulaires jusqu'à nos jours, on trouve des horloges biologiques dans tout organisme vivant : bactérie, champignon, vers, mouche, grenouille, ... et humain.

Ces horloges (dont la découverte a été couronnée cette année par l'attribution du Prix Nobel aux trois chercheurs à l'origine des travaux scientifiques) servent à marquer le temps sur une période de 24 heures, un peu à la manière d'un sablier interne.

Je le répète : quand on parle d'horloge, ce n'est pas une Swatch™ enterrée dans la tête mais un réseau de molécules qui interagissent de façon rythmique.

Tout est une question de rythmes

On parle également d'« horloge circadienne », ce terme venant du latin « circa » (autour de) et « dien » (jour). C'est-à-dire qu'il s'agit d'une horloge moléculaire qui a une rythmicité d'environ 24 heures, en phase avec la durée du cycle jour-nuit.

Car il y a d'autres horloges biologiques avec des rythmes inférieurs à 24 heures. On parle alors de rythme « ultradien » comme la sécrétion de certaines hormones ou des organismes des littoraux rythmés par le mouvement des marées. Les cycles peuvent être plus longs, comme les cycles lunaires dont dépend par exemple la reproduction des coraux. Voir des cycles annuels comme la mise-bas des moutons.

Il est difficile de comprendre précisément à quel point la vie est rythmique, même si ce fait passe inaperçu la majorité du temps.

L'exemple le plus parlant est peut-être le cycle éveil-sommeil, normalement aligné avec le cycle jour-nuit chez l'humain, alors que les animaux nocturnes tels les souris ou les rats, montrent l'inverse, l'éveil étant coordonné avec la nuit et la phase de sommeil avec la lumière.

L'importance du rythme naturel de 24 heures

Un travail considérable qui vient d'être publié, fruit de 10 années de recherche, montre que chez nos cousins les singes (et donc très probablement chez les humains), environ 80% des protéines dans le corps sont produites de manière rythmique !

L'objet de cet article n'est cependant pas de donner des explications détaillées sur l'horloge circadienne car il existe déjà des revues vulgarisées d'excellente facture.

Mais deux points importants doivent être soulignés.

D'abord, il est légitime de se poser la question : pourquoi les choses sont faites ainsi ? Le plus simple (et nécessairement approximatif) est de dire que c'est une affaire d'économie d'énergie.

Fondamentalement, la survie de chaque espèce dépend de sa capacité à trouver de la nourriture. Or, faire tourner la machine (le corps) à toute vitesse 24 heures sur 24 serait trop énergivore. Ainsi, les processus sont déclenchés à des moments précis et coordonnés entre eux.

Ensuite, comment ça marche ? Les détails ne sont connus que pour certains animaux et plantes, mais on pense que les mammifères, y compris l'humain, disposent d'une horloge circadienne centrale située dans le cerveau.

De multiples horloges internes

Il existe aussi pléthore d'autres horloges dites « périphériques » un peu partout dans les organismes, le foie, les reins, les poumons, la peau, etc. L'horloge centrale agit à la manière d'un chef d'orchestre qui donne le tempo à toutes les horloges périphériques, les alignant de sorte que le foie commence à métaboliser les lipides à une heure précise, le pancréas sécrète l'insuline à un moment bien spécifique, etc.



Organisation circadienne du corps humain. L'horloge centrale localisée dans le cerveau envoie des messages aux horloges périphériques pour les synchroniser et optimiser leur fonctionnement selon l'heure de la journée.

Cette « orchestration » est très complexe et harmonieuse et permet à l'organisme d'optimiser l'utilisation des ressources énergétiques.

Pour l'instant je ne vais pas trop insister là-dessus, mais le dérèglement de ce réseau extrêmement sophistiqué risque à long terme de provoquer toute sorte de problèmes de santé : entre autres cancers, maladies cardiovasculaires, diabète ou encore déclin cognitif.

Effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des diodes électroluminescentes (LED)

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) vient de publier un rapport détaillé sur les conséquences de la pollution lumineuse.

Horloge et lumière

Mais, allez-vous dire, cet article n'était-il pas censé parler de la vision ? Alors pourquoi discuter uniquement sur l'horloge interne présente dans le cerveau ? Quel est le lien ?

Eh bien, voilà : pour que l'horloge centrale, située dans l'abri obscur du cerveau, connaisse l'heure exacte de la journée, il faut qu'un signal lui parvienne et lui communique l'information.

Lumière, obscurité, éveil et sommeil

Vous l'avez deviné, ce sont les yeux qui de par leur fonction (détecter la lumière) relaient ce message à l'horloge centrale. Et c'est là que les choses deviennent vraiment intéressantes, parce que cette capacité à utiliser la lumière comme marqueur du temps est totalement différente à tous les points de vue (il y a beaucoup de jeux de mots dans cette discipline !) de celle de voir les objets.

On sait depuis longtemps que ce rôle existe.

Prenons l'exemple d'une cage de souris dans une pièce éclairée pendant 12 heures, à partir de 07h00 du matin jusqu'à 19h00 le soir. Les souris, rappelez-le, sont des animaux nocturnes qui dorment dans la journée. Elles vont donc s'activer dès l'extinction des lumières et s'arrêter au moment celles-ci se rallument le lendemain matin.

Mais si au lieu d'allumer à 07h00, vous allumez à 10h00 du matin (et donc éteignez à 22h00), les souris vont toujours commencer à gambader aux alentours de 19h00 parce que leur horloge a « mémorisé » que la nuit commence à ce moment.

Il leur faut alors trois ou quatre jours pour s'adapter au nouveau cycle lumière-obscurité ! On appelle « photo-entraînement » ce phénomène : l'alignement du cycle éveil-sommeil sur le cycle lumière-obscurité.

La complexité de la photoréception

J'ai expliqué dans un précédent article que la rétine contient des photorécepteurs (les cellules capables de détecter la lumière) de deux sortes, les bâtonnets qui fonctionnent en conditions de faible luminosité (la nuit et la pénombre) et les cônes qui ont besoin de plus de lumière (donc le plein jour) pour fonctionner.

Les cônes nous permettent de voir les couleurs pendant le jour, alors que les bâtonnets donnent une vision monochromatique, en niveaux de gris, pendant la nuit. Bref, puisque aucun autre photorécepteur n'a été mis en évidence depuis les travaux du XIX^e siècle, on pensait que le photo-entraînement, comme la vue, passerait soit par les bâtonnets, soit par les cônes, soit les deux.

La surprise fut totale quand des chercheurs ont montré que des souris naturellement aveugles, complètement dépourvues de bâtonnets et de cônes, étaient toujours capables de s'aligner sur les modifications du cycle lumière-obscurité. C'est-à-dire, alors qu'elles étaient visuellement incapables de détecter la lumière et de voir les objets mais qu'elles étaient toujours capables de « percevoir » la lumière et ainsi de calquer leur cycle éveil-sommeil sur celle-ci.

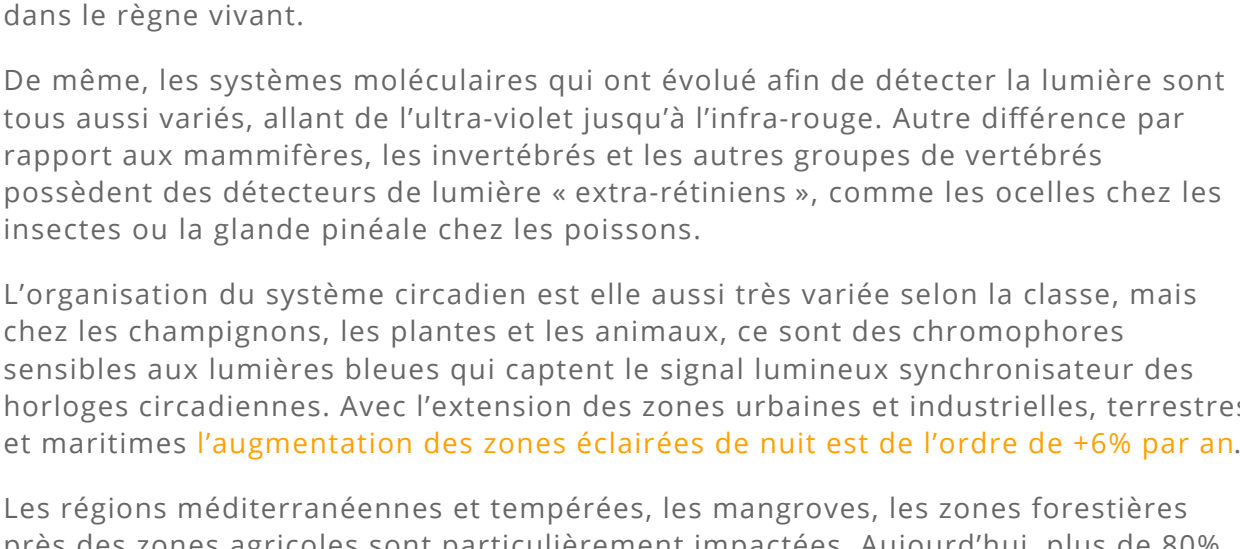
Pendant longtemps la communauté scientifique n'a pas cru ces résultats, pensant qu'il devait y avoir un artefact quelque part. Parce que la conclusion alternative (qu'un troisième type de photorécepteur ait été présent et que personne ne l'avait trouvé pendant plus de cent ans) était trop difficile à imaginer. Enfin, il y a une vingtaine d'années, on a dû s'incliner devant l'évidence : un troisième type de photorécepteur existe bel et bien et il n'a rien à voir ni avec les bâtonnets ni avec les cônes.



Schéma simplifié des cellules de la rétine et de leurs connexions au cerveau. Panneau du haut : la rétine humaine (comme chez toutes les espèces) est très stratifiée, comprenant les photorécepteurs classiques de type cône (rose ou vert) et bâtonnet (bleu pâle), ainsi que les cellules ganglionnaires qui intègrent toutes les informations visuelles pour les acheminer vers le cerveau.

En fait, tout porte à croire que ces cellules nouvellement découvertes sont très peu nombreuses (ce qui explique que leur existence ait échappé aux investigations précédentes) et présentes dans la couche cellulaire interne de la rétine, là où se trouvent les cellules ganglionnaires qui captent les informations visuelles pour les envoyer au cerveau le long le nerf optique.

La grande majorité de ces projections se terminent dans le cortex visuel, siège de la vision « conventionnelle ». Mais une toute petite partie d'entre elles, entre 2 et 3%, bifurquent avant pour aller directement vers... l'horloge centrale.



Le trajet principal suivi par le nerf optique en bleu culmine dans le cortex visuel pour générer la sensation de la vue. Par contre un petit nombre des cellules ganglionnaires (en rouge dans les deux panneaux) projetent vers l'horloge circadienne centrale. Ce sont donc ces cellules intrinsèquement phosensibles qui coordonnent l'horloge du cerveau avec le cycle jour-nuit.

On ne peut surestimer l'impact que cette découverte a eu sur notre conception de la vie. Les vingt années depuis leur mise en évidence à vu des milliers d'articles scientifiques consacrés à leur étude.

Drôles de cellules

Alors que ces cellules, qui ont le nom barbare de « cellules ganglionnaires rétiniennes intrinsèquement photosensibles », ne représentent que quelques pourcents des cellules ganglionnaires totales. Elles sont à l'origine d'effets extrêmement importants qui dépassent largement le cadre de la vision seule, pour affecter la cognition, la migraine, l'humeur, l'appétit et surtout l'horloge circadienne (qui à son tour, à travers ses myriades d'influences va affecter tout le corps).

Je ne vais pas trop m'appesanter sur les spécificités de ces cellules (mais qui sont vraiment très curieuses, et si les lecteurs me bombardent de « likes » je pourrais y revenir dans un article futur...), et ne ferai pour l'instant que deux remarques.

D'une part, par leur composition, ces cellules ressemblent beaucoup aux photorécepteurs de la mouche (et donc le film d'horreur « La Mouche » n'est peut-être pas si loin de la réalité...) !

Et d'autre part, plus sérieusement, ces cellules sont particulièrement sensibles à la lumière bleue. Ce qui a des conséquences critiques pour nous.

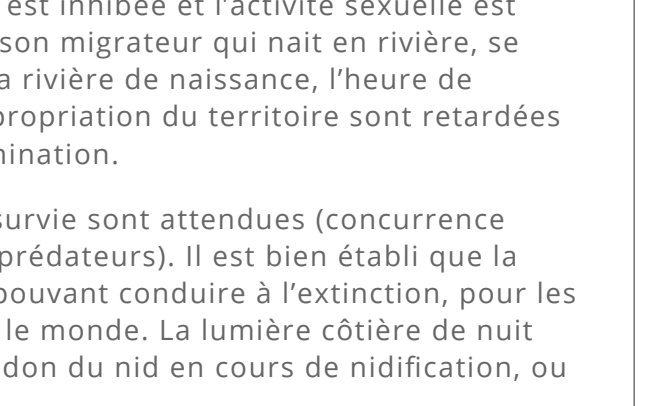


Image du film La Mouche. Le pouvoir sensoriel se transforme en mouche, mais nous avons tous un petit peu de mouche (au moins des cellules qui lui ressemblent) en nous !

© Film The Fly 1958

Les écrans des ordinateurs, smartphones et téléviseurs émettant une lumière riche en bleu, celle-ci est interprétée par les cellules ganglionnaires photosensibles comme correspondant à l'aube.

CLICK TO TWEET

Lumière bleue et cellules ganglionnaires photosensibles : un cocktail explosif !

Pour récapituler rapidement, la lumière a deux fonctions principales : d'une part elle permet la vision, (voir des objets, des couleurs, le mouvement, etc) et d'autre part elle informe le cerveau du moment de la journée.

Ces deux rôles sont distincts (bien moins qu'on ne le pensait, mais ça c'est une autre histoire) et utilisent deux voies cellulaires séparées. Au lecteur qui se demandera pourquoi les cellules qui communiquent avec l'horloge centrale sont si sensibles aux rayonnements bleus, nous répondrons que la lumière naturelle est très enrichie en bleu, surtout le matin même avant le lever du soleil.



Léveil du soleil sur le Kilimandjaro
©Lukigiga

Les interférences humaines

Le changement rapide en intensité et de qualité spectrale qui se fait à l'aube (et à la tombée de la nuit) donne un signal lumineux très fort qui synchronise l'horloge centrale avec l'heure solaire.

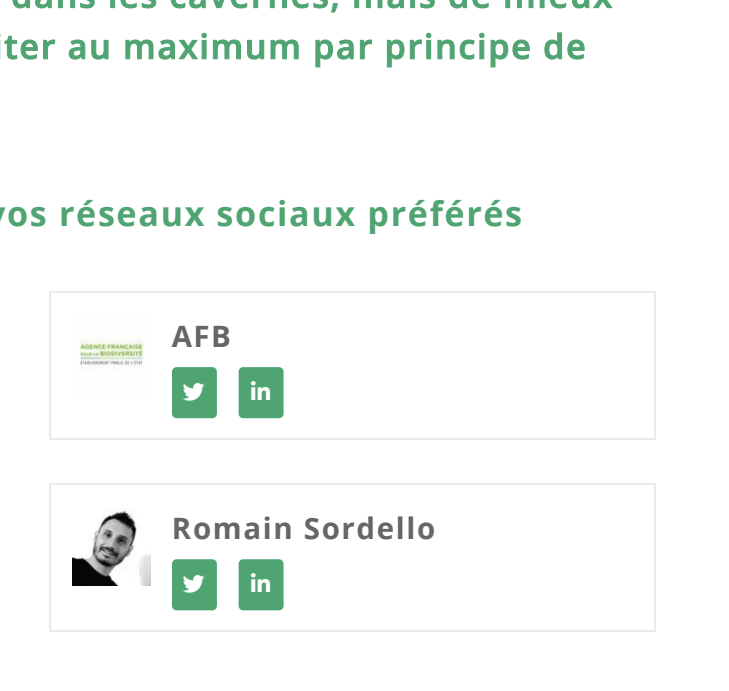
Pendant quelques centaines de millions d'années (hormis des sources naturelles telle que les éclairs, les volcans ou la lune) l'existence des organismes vivants était rythmée uniquement par l'alternance jour-nuit.

Mais voilà, l'homme est intervenu et a inventé la lumière artificielle qui est rapidement devenue pollution lumineuse.

En conséquence de quoi, nous sommes exposés à la lumière quasiment 24 heures sur 24 : à la maison à l'extérieur, même en pleine nature. La pollution lumineuse est reconnue par la loi française (Loi pour la reconnaissance de la biodiversité, de la nature et des paysages, votée le 20 juillet 2016).

Un réel problème d'équilibre de luminosité

Il est fort probable que le lecteur ou la lectrice que vous êtes ait entendu parler des dangers potentiels de la lumière bleue en soirée (c'est presque devenu un sujet de psychose en raison d'informations alarmantes à la radio, internet, ainsi que dans les magazines).



L'Italie vue de la Station Spatiale Internationale
©Sesze

Les écrans des ordinateurs, smartphones et téléviseurs émettant une lumière riche en bleu, celle-ci est « interprétée » par les cellules ganglionnaires photosensibles comme correspondant à l'aube. Ainsi, l'horloge centrale est désynchronisée par rapport au cycle jour-nuit réel avec toutes les conséquences qui en découlent : perte de sommeil, problèmes d'humeur, problèmes de nutrition, etc.

Il m'apparaît important d'insister sur le fait que ça n'est pas la lumière bleue en soi qui pose problème.

Nous avons toujours été exposés aux rayonnements bleus par la radiation solaire et nous en avons besoin pendant la journée pour justement stimuler l'horloge centrale et la synchroniser avec le cycle jour-nuit.

Ce qui est une réelle source de préoccupation est lié au fait que le « trop » de lumière le soir est amplifié par le « pas assez » de lumière le jour, du fait de la vie moderne où l'on passe en général beaucoup de temps à l'intérieur.

Le problème est donc bien d'être exposé à trop de lumière le soir ou la nuit, les organismes n'ayant pas évolué pour faire face à ce changement environnemental.

L'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité

Tiré du rapport sur « Effets sanitaires des systèmes utilisant des diodes électroluminescentes (LED) » ANSES 2019, remerciement au Dr. J. Falcon pour son aimable autorisation.



Panorama de Pittsburgh
©Vehndra

Les effets de la lumière de nuit sur les organismes vivants et la biodiversité constituent un autre enjeu de taille. Du simple « organelle » photorécepteur à la structure la plus complexe telle que le chloroplaste des végétaux, l'œil à l'écaille des vertébrés, des insectes ou des céphalopodes, toutes les possibilités se rencontrent dans le règne vivant.

De même, les systèmes moléculaires qui ont évolué afin de détecter la lumière sont tous aussi variés, allant de l'ultra-violet jusqu'à l'infra-rouge. Autre différence par rapport aux mammifères, les invertébrés et les autres groupes de vertébrés possèdent des détecteurs de lumière « extra-rétiniens », comme les ocelles chez les insectes ou la glande pinéale chez les poissons.

L'organisation du système circadien est elle aussi très variée selon la classe, mais chez les champignons, les plantes et les animaux, ce sont des chromophores sensibles aux lumières bleues qui captent le signal lumineux synchronisateur des horloges circadiennes. Avec l'extension des zones urbaines et industrielles, terrestres et maritimes l'augmentation des zones éclairées de nuit est de l'ordre de +6% par an.

Les régions méditerranéennes et tempérées, les mangroves, les zones forestières près des zones agricoles sont particulièrement impactées. Aujourd'hui, plus de 80% de la population mondiale – et jusqu'à 99% en Europe et Amérique du Nord – vit sous un ciel éclairé de nuit. Il s'en suit que les surfaces non artificiellement éclairées dédiées aux espaces naturels – essentiels au développement de la vie sauvage – ne cessent de diminuer.

Un petit ou le plus grand animal, tous sont concernés par la pollution lumineuse. Certaines araignées chassent plus facilement, d'autres sont plus facilement désemparées.

La diversité des réponses reflète la diversité du vivant et ce qui peut être un avantage pour une espèce donnée, animale ou végétale, peut s'avérer un inconvénient pour une autre. Les altérations s'observent directement à plusieurs niveaux d'organisation dont les rythmes biologiques (journaliers et annuels), l'activité, la répartition, l'orientation et la migration.

Il y existe également des effets indirects, observables à moyen et à long terme seulement, sur les populations dans leurs écosystèmes. Ces dernières années ont vu une augmentation notable du nombre de travaux rapportant l'impact des LED sur la biologie d'espèces aquatiques et terrestres. Les données restent cependant encore éparpillées et insuffisantes.

Pour donner quelques exemples choisis au hasard, des études montrent que la prise alimentaire des insectes (papillons nocturnes) est inhibée et l'activité sexuelle est perturbée. Chez le saumon atlantique, un poisson migrateur qui naît en rivière, se nourrit en mer et revient se reproduire dans sa rivière de naissance, l'heure de l'émergence des alevins, leur dispersion et appropriation du territoire sont retardées et désynchronisées des 1 lux et au-delà d'illumination.

Dans ces conditions des répercussions sur la survie sont attendues (concurrence pour les ressources du milieu, exposition aux prédateurs). Il est bien établi que la lumière côtière représente un danger majeur pouvant conduire à l'extinction, pour les différentes espèces de tortues marines par le monde. La lumière côtière de nuit altère le choix du lieu de nidification ou l'abandon du nid en cours de nidification, ou encore provoque la ponte en mer.

L'émergence des jeunes, qui s'effectue essentiellement de nuit, est également altérée et celles ayant atteint la mer rebroussement chemin s'il y a éclairage. Les oiseaux sont particulièrement impactés par la lumière de nuit, où il ressort que la lumière de nuit exerce un pouvoir d'attraction et une désorganisation du système circadien chez les oiseaux sédentaires et migrateurs, soit en affectant la phototaxie, soit en altérant les rythmes endogènes journaliers et annuels tels que le sommeil, la reproduction ou la migration.

On voit le merle (T. merula) dans le jour. La lumière de nuit altère le choix du lieu de nidification ou l'abandon du nid en cours de nidification, ou encore provoque la ponte en mer.

Ainsi chez le merle (*T. merula*), une lumière blanche de 0,3 lux induit une avance de phase d'un mois sur le système reproducteur (taille et fonctionnalité des testicules ; taux de stéroïdes) et sur la mue.

Finalement, s'il est de plus en plus évident que l'éclairage de nuit impacte les êtres vivants, deux aspects sont encore insuffisamment explorés. Le premier concerne les répercussions sur l'écosystème : si la lumière de nuit a des effets sur les espèces, il affectera de manière indirecte les communautés liées par une chaîne trophique ou symbiotique. Le second concerne la multiplicité des facteurs entropiques : lumière de nuit, pollution chimique, réchauffement climatique, réduction des espaces naturels et obstacles physiques, etc. forment un ensemble dont la somme peut résulter en des effets plus qu'additifs.

Que peut-on faire contre la pollution lumineuse

Des solutions partielles sont proposées :

- Porter des lunettes dont les verres filtrent les émissions bleues.
- Filtrer les émissions lumineuses directement à la source afin de réduire la partie bleue.
- Installer des systèmes d'éclairage dit « intelligents » qui modulent leurs émissions automatiquement.

Extinction nocturne de la pollution lumineuse, en milieu de nuit.
©Ségnefard

Pourtant, l'efficacité de ces systèmes reste à prouver. Et je le rappelle, la lumière bleue est nécessaire dans la journée pour faire fonctionner correctement l'horloge : il ne faut pas se priver de ces émissions quand il fait jour.

Sur le plan environnemental (car le problème dépasse largement les zones urbaines et l'homme), on devait repenser l'utilité et l'efficacité de l'éclairage public. Par exemple en éteignant l'illumination des bureaux et des enseignes publicitaires la nuit. Ou bien en créant des « corridors de nuit » sans éclairage du tout afin de permettre à la faune nocturne de sortir et de se nourrir normalement.

Je vous recommande de se renseigner auprès de l'ANPCEN (l'Association Nationale Pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturne), association bénévole qui a été très active pour sensibiliser les autorités, les collectivités et le grand public aux enjeux de l'éclairage tout azimut.

Pour conclure

Comme tous les organismes vivants, nous avons en nous un système complexe dit « horloge biologique ».

Elle est faite de centaines de millions d'années d'évolution et nous permet de mesurer et d'anticiper le temps pour harmoniser notre physiologie interne avec l'heure solaire.

Chez les mammifères, y compris l'homme, « l'horloge maître » du système est enterrée dans le cerveau où son seul repère pour savoir quelle heure il est à l'extérieur vient de l'entrée de la lumière par les yeux.

Pendant 99,9% de notre histoire la seule source de lumière fut le soleil. Or, l'utilisation de l'éclairage artificiel en soirée perturbe la synchronisation du système, avec des retombées sur la santé humaine et les écosystèmes.

Comme notre système est extrêmement sensible aux longueurs d'onde courtes qui correspondent à la perception du bleu, l'introduction généralisée de la nouvelle technologie LED pose un problème potentiel par ses émissions fortes dans ces gammes.

Il ne s'agit pas ici de retourner vivre dans les cavernes, mais de mieux comprendre les enjeux et de les limiter au maximum par principe de précaution.

Les spécialistes du sujet sont sur vos réseaux sociaux préférés

Zoologiste dans l'âme depuis tout petit (il a eu 40 espèces de reptiles et batraciens chez ses parents – sa mère fut très indulgente), au fil des études supérieures en Angleterre, au Canada, aux USA et en France, il s'est spécialisé dans les neurosciences et la vision.

Directeur de recherche à l'Inserm, il s'intéresse aux processus moléculaires et physiologiques gouvernant la détection de la lumière, ainsi qu'aux problèmes pathologiques de la vue.