

tendent à la réduire. Comment assurer que les choix envisageables ne seront pas éliminés avant même que les modalités de leur développement n'aient été éprouvées ? Cette menace n'a rien de théorique. Livrés à eux-mêmes, c'est-à-dire aux puissants intérêts qui les gouvernent, les marchés tendent à privilégier certaines solutions qui deviennent, du fait des investissements consentis, les seules considérées comme rentables et efficaces : le standard VHS s'est imposé pour les magnétoscopes alors que Betamax était le meilleur techniquement ; le clavier QWERTY de même, bien qu'il n'optimise ni la vitesse de frappe ni le confort de travail ; et sans les investissements considérables dont elle a fait l'objet en France, l'énergie nucléaire ne serait pas devenue aussi incontournable pour les décideurs.

C'est sur le dossier des OGM qu'ont été formulés avec le plus de clarté les défis posés à la démocratie par ces mécanismes de sélection et d'élimination. Comment s'assurer, par exemple, que soient conciliées dans le futur deux formes d'agriculture et d'industrie alimentaire, l'une qui recourt aux OGM et l'autre qui repose sur des plantes non modifiées, sachant que les rapports de force économiques tendent à favoriser la première au détriment de la seconde ? La réponse apportée par le législateur tient en une notion – la coexistence – à laquelle il reste à donner un contenu.

Le Haut conseil des biotechnologies a fait des propositions intéressantes sur le sujet. Elles incluent notamment : la mise en place d'expérimentations progressives et de dispositifs d'évaluation de leurs effets sociaux, environnementaux et économiques ; l'organisation de recueils d'informations et leur mise en circulation ; un accès ouvert à la recherche publique pour les différentes options ; la réforme du système de la propriété intellectuelle. Ces formes nouvelles d'organisation, réalistes, éviteraient, si elles étaient adoptées, les mécanismes de verrouillage et préviendraient la disparition des options.

Mais réformer la recherche et les marchés pour entretenir la diversité des options ne suffira pas. Dans les dossiers mis en débat ces 40 dernières années, les décisions et

les choix ne reposent, au moins au début, sur aucune certitude établie. Les réponses passent par des modélisations et des simulations qui mobilisent nombre d'hypothèses pas toujours explicites ni faciles à vérifier. Comment, dans ces conditions, prendre des décisions raisonnables et éclairées et ne pas sombrer dans l'inaction ?

C'est dans le cas du changement climatique, où les incertitudes sont plus fortes et complexes qu'ailleurs, qu'ont été imaginés des dispositifs loin d'être parfaits, mais prometteurs. Des procédures permettent de mieux évaluer la solidité des preuves et la confiance à accorder aux travaux des experts. C'est ainsi qu'une instance (SBSTA) intermédiaire entre les experts (GIEC) et les gouvernements a été créée pour rendre moins étanche la frontière entre questions de fait et de valeur. On demande aussi aux experts d'évaluer leur degré d'accord et les incertitudes non encore levées. Enfin, des décisions mesurées tendent à se substituer aux décisions tranchantes et définitives : à chaque étape sont attendus les retours d'expérience pour conforter les modèles et prendre de nouvelles décisions.

On l'aura compris, les débats restent nécessaires. Mais leur rôle ne doit pas se limiter à l'inventaire des points de vue et à la recherche de compromis souvent introuvables. Leur principale fonction est d'aider à faire émerger les options envisageables et à en accompagner l'exploration. Les illustrations précédentes montrent que la tâche n'est pas impossible. Des solutions sont imaginées. Notre devoir est de les faire connaître, de faciliter leur discussion et leur transposition. Certes elles peuvent paraître utopiques. Pourtant, l'utopie pourrait bien être du côté de ceux qui pensent que la simple recherche d'un consensus suffit à la démocratie. ■

■ L'AUTEUR



Michel CALLON est chercheur au Centre de sociologie de l'innovation, à MinesParisTech.



QUE FAIRE DES DÉCHETS NUCLÉAIRES ?

Selon Michel Callon, les débats doivent aider à l'émergence et au développement de différentes options et accompagner l'exploration et l'évaluation de chaque piste, afin de laisser aux générations suivantes la possibilité de choisir.



Réagissez au
Point de vue sur
www.pourlascience.fr

ENTRETIEN

« L'hygiène lumineuse est essentielle, au même titre que l'hygiène alimentaire »

L'œil ne sert pas qu'à voir. L'intensité lumineuse qu'il reçoit et les moments où cela se produit influent sur notre santé, explique Claude Gronfier, neurobiologiste spécialisé dans l'étude des effets de la lumière sur l'organisme.



Claude GRONFIER est chercheur au sein du Département de chronobiologie de l'unité Inserm 846, à Bron (Lyon).

© Zoé Gronfier

Tablettes, ordinateurs, télévision, téléphone portable... Les sources de lumière artificielle se sont multipliées dans notre environnement, et l'on s'aperçoit que leur effet sur les rythmes biologiques n'est pas anodin. En 2010, 30 % des adolescents en France présentaient des troubles d'endormissement, selon l'étude HBSC 2010 publiée en 2012 par l'INPES (Institut national de prévention et d'éducation pour la santé), et ceux qui utilisaient un ordinateur, un téléphone portable ou la télévision le soir dormaient 30 à 45 minutes de moins par nuit que la moyenne de leurs camarades. À l'inverse, trop peu de lumière peut être néfaste. Décryptage de Claude Gronfier, auteur de plusieurs travaux sur le sujet.

POUR LA SCIENCE

Comment s'est-on aperçu que la lumière influe sur les rythmes biologiques ?

CLAUDE GRONFIER : On a longtemps pensé que la lumière était surtout nécessaire à la vision. On a ensuite montré qu'elle intervient dans la synthèse de la vitamine D et participe au bien-être. Mais à partir des années 1970, on a découvert qu'il existe une horloge biologique au cœur du cerveau,

impliquée dans la genèse des rythmes biologiques de l'organisme. Si l'on s'endort et se réveille tous les jours à peu près à la même heure, c'est parce que cette horloge permet l'installation du sommeil à certains moments et active la veille à d'autres. On a aussi mis en évidence le rôle clé de la lumière dans ce processus. En 1980 notamment, Charles Czeisler, de la *Harvard Medical School*, et ses collègues ont montré que c'est elle qui remet à l'heure l'horloge biologique, et non des synchroniseurs sociaux, comme on le pensait alors.

PLS

La lumière agit-elle sur l'horloge biologique via les mécanismes de la vision ?

CL. G. : C'est ce qu'on a pensé au départ. On avait admis que la lumière synchronisait l'horloge biologique par l'intermédiaire des cônes et des bâtonnets, cellules photosensibles de la rétine qui transforment les signaux lumineux en influx nerveux. Mais en 2002, on a découvert qu'il existe d'autres récepteurs de lumière dans la rétine, les cellules ganglionnaires à mélanopsine, principales responsables de l'effet de la lumière sur l'horloge biologique. Via ces cellules, la lumière a bien d'autres effets sur le cerveau. Un câblage neuronal les connecte à l'horloge, mais aussi à plusieurs structures cérébrales impliquées dans

la mémoire, le contrôle des émotions, l'humeur, la cognition, la vigilance, le sommeil. Dès qu'une lumière active ces cellules, ces structures sont activées ou inhibées. On se rend compte aujourd'hui que le sommeil de qualité pendant la nuit et la veille de qualité durant le jour sont liés à différents effets de la lumière sur diverses structures cérébrales.

PLS

La lumière artificielle a-t-elle le même effet sur la rétine que la lumière naturelle ?

CL. G. : Cette question suscite beaucoup de recherches. L'homme a évolué à l'extérieur, exposé à la lumière solaire. Il n'est donc pas étonnant que cette lumière soit optimale tant pour la vision que pour activer l'horloge biologique et les autres fonctions cérébrales non visuelles. L'effet des lumières artificielles, en revanche, dépend de leur spectre.

Globalement, elles sont toutes efficaces sur la vision. La lumière solaire paraît blanche parce qu'elle active les trois types de cônes de la rétine, sensibles respectivement au rouge, au bleu et au vert. On peut avoir la même illusion avec des lumières fluorescentes ou des diodes électroluminescentes (LED), même si leur contenu spectral est plus pauvre : il suffit qu'elles contiennent un peu de rouge, de bleu et de vert en bonnes proportions. Certaines, dites chaudes, sont enrichies

en jaune ou en orange, et d'autres, dites froides, sont plus bleutées, telles les LED, mais toutes suffisent à donner une bonne acuité visuelle.

Toutefois, ces lumières peuvent être inadaptées pour activer les fonctions non visuelles, car les cellules ganglionnaires à mélanopsine ne sont pas sensibles aux mêmes longueurs d'onde que les cônes. Les neurobiologistes ont initialement pensé qu'il fallait des intensités lumineuses très fortes pour influencer sur l'horloge biologique : les premières expériences ont vu un effet avec des lumières incandescentes ou fluorescentes de 10 000 lux [l'intensité que l'on perçoit au lever du jour ou au coucher du soleil par un ciel bleu, mais en intérieur, c'est une intensité très forte]. Pourquoi ? Parce que ces lumières étaient pauvres en lumière bleue, qui est celle efficace sur les cellules ganglionnaires.

PLS

Les effets différent-ils d'un type de lumière artificielle à un autre ?

CL.G. : En 2010, une étude de l'équipe de Christian Cajochen, à Bâle, a mis en évidence que toutes les lumières artificielles n'ont pas le même effet sur les fonctions non visuelles. Il a comparé l'effet de lumières fluorescentes classiques de supermarché (ampoules à économie d'énergie), qui produisent une température de couleur de 3 000 kelvins (assez orangée), avec une lumière à 4 000 kelvins, classique dans les bureaux, et une lumière « froide » à 6 000 kelvins. Il a exposé des individus pendant 1h30 à de la lumière entre 21h30 et 23h et mesuré dans leur salive la concentration de mélatonine, une hormone sécrétée de nuit. Il a aussi évalué leurs performances cognitives, leur bien-être et leur vigilance. Il a constaté que plus la lumière est froide, plus elle supprime la sécrétion de mélatonine et augmente les performances cognitives, le bien-être et la vigilance.

PLS

A-t-on obtenu le même effet avec des écrans ?

CL.G. : Oui, en 2012, une étude du même groupe a montré que des écrans d'ordinateur à LED produisent le même résultat, et avec une efficacité supérieure à celle des écrans cathodiques, aux lumières moins froides. Et en décembre 2014, l'équipe de Charles Czeisler a montré que lire le soir sur une tablette pendant trois heures



REGARDER TARD LE SOIR UN ÉCRAN À LED – ordinateur, tablette, télévision – retarde l'endormissement et décale les rythmes biologiques. La lumière bleutée émise active les cellules de la rétine qui contrôlent la synchronisation de notre horloge biologique.

non seulement produit les mêmes effets, mais retarde l'horloge biologique de plus d'une heure par rapport à la lecture d'un livre.

PLS

Une exposition à la lumière artificielle dans la journée peut-elle causer une insomnie dans la nuit suivante ou réduire la durée du sommeil ?

CL.G. : Toutes les études récentes sur les effets non visuels de la lumière ont montré que l'exposition à la lumière dans les quelques heures qui précèdent l'endormissement ont un effet sur la structure interne du sommeil. Non seulement elle le retarde, mais elle modifie sa structure. Par exemple, la lumière bleue allège le sommeil en début de nuit. Ainsi, non seulement on s'endort plus tard (insomnie de début de nuit), mais la qualité du sommeil en début de nuit sera différente et le sommeil sera moins profond.

De plus, on sait maintenant que la qualité du sommeil se construit durant la veille et on pense que l'exposition à la lumière du jour participe à cette construction. Ses mécanismes d'action ne sont pas connus et nous intéressent beaucoup, car si l'on découvre comment moduler la qualité du sommeil par l'exposition à la lumière du jour, on pourra imaginer des applications contre l'insomnie ou les troubles du sommeil.

Noir complet

En l'absence d'une intensité lumineuse suffisante, l'horloge biologique exprime sa propre période, légèrement supérieure à 24 heures en moyenne dans la population, et dérive peu à peu par rapport au jour solaire. C'est ce qui est arrivé à l'explorateur Michel Siffre qui, en 1962, a vécu deux mois dans une grotte et s'est décalé d'une demi-heure par jour. On observe aussi ce décalage chez les personnes aveugles dont la rétine est dysfonctionnelle ou dont les yeux ont été enlevés.