

EFFETS NON VISUELS DE LA LUMIÈRE

La lumière ne se limite pas à ses effets visuels. Si elle peut avoir des effets délétères sur l'appareil visuel, elle agit également sur l'organisme par des mécanismes physiologiques non visuels, liés à la stimulation de certaines cellules de la rétine influant sur le système nerveux et hormonal. Ainsi, la lumière qui entre dans l'œil n'est pas seulement perçue comme une couleur ou une intensité : elle peut aussi influencer la santé et la vigilance.

Ce dernier article traite des risques photobiologiques et de la synchronisation de l'horloge biologique par la lumière.

DINA ATTIA
Direction de l'évaluation des risques, Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses)

Effets photobiologiques liés aux rayonnements optiques visibles

En fonction de la composition spectrale de la lumière, de la puissance de la source, de la distribution spatiale des intensités lumineuses et de la durée d'exposition, les salariés peuvent être soumis à des risques photobiologiques. Ceux-ci se traduisent notamment par des lésions thermiques (brûlures de la peau ou de la rétine, liées à une forte intensité lumineuse), ou des effets photochimiques sur la rétine.

Le risque photochimique existe pour le domaine de longueur d'onde allant de 300 nm à 700 nm, et atteint son maximum dans la région bleue du spectre (Cf. Figure 1). C'est pourquoi on parle fréquemment de « risque lumière bleue ».

L'évaluation de ce risque repose sur la comparaison entre une « dose efficace » reçue et une valeur limite d'exposition (VLE), en dessous de laquelle aucun effet nocif n'est démontré. Cette dose correspond à l'éclairement énergétique pondéré par la courbe d'efficacité spectrale $B(\lambda)$, noté E_B , multiplié par le temps d'exposition. La VLE peut ainsi être dépassée en un temps très court si la source est très puissante, ou après un temps plus long si la source l'est moins. Le site Internet de l'INRS propose un dossier spécifique pour approfondir le sujet [1].

Dans la majorité des cas, les luminaires utilisés pour l'éclairage des lieux de travail ne présentent pas de danger pour les salariés, d'autant moins que les réflexes d'aversion¹ limitent naturellement le risque d'exposition dangereuse [2]. Toutefois, certaines sources particulières, comme les projecteurs de poursuites utilisés dans l'audiovisuel, peuvent engendrer un risque accru d'exposition à la lumière bleue.

Avant de choisir un luminaire, il est essentiel de s'informer sur son niveau de dangerosité. La norme NF EN 62471 fournit une méthode normalisée d'évaluation des risques photobiologiques associés aux lampes et appareils utilisant des lampes [3]. Elle conduit au classement des produits en quatre groupes de risques, suivant leur dangerosité :

- groupe sans risque (GR0) : la source ne présente aucun risque photobiologique ; concernant le risque lumière bleue, elle ne présente pas de risque rétinien pour une exposition de 10 000 secondes ;
- groupe de risque 1 (GR1) : risque faible. La source ne présente pas de risque dans des conditions normales d'utilisation. Elle excède les limites du groupe sans risque, mais ne présente pas de risque rétinien pour une exposition de 100 secondes ;
- groupe de risque 2 (GR2) : risque modéré. La source ne présente pas de risque dans un temps inférieur à la réponse d'aversion si sa luminance est élevée, ou en raison de l'inconfort thermique ressenti. Elle excède les limites du groupe de risque 1, mais ne présente pas de risque rétinien pour une exposition de 0,250 seconde (réflexe optico-papébral) ;
- groupe de risque 3 (GR3) : risque élevé. Les valeurs limites d'exposition sont dépassées même pour une exposition brève.

La norme NF EN 62471 est une norme harmonisée au titre de la directive « basse tension » [4]. À ce titre, tout produit mis sur le marché doit avoir été évalué conformément à cette norme, et le fabricant doit en connaître le groupe de risque photobiologique. Cette information doit pouvoir être fournie par le fabricant ou le distributeur sur demande.

Enfin, la norme NF EN IEC 62471-7, spécifiquement adaptée aux sources et luminaires destinés à l'éclairage, complète ce dispositif [5]. Elle regroupe les luminaires en fonction de leur application et de leur durée d'observation possible.

Synchronisation de l'horloge biologique par la lumière

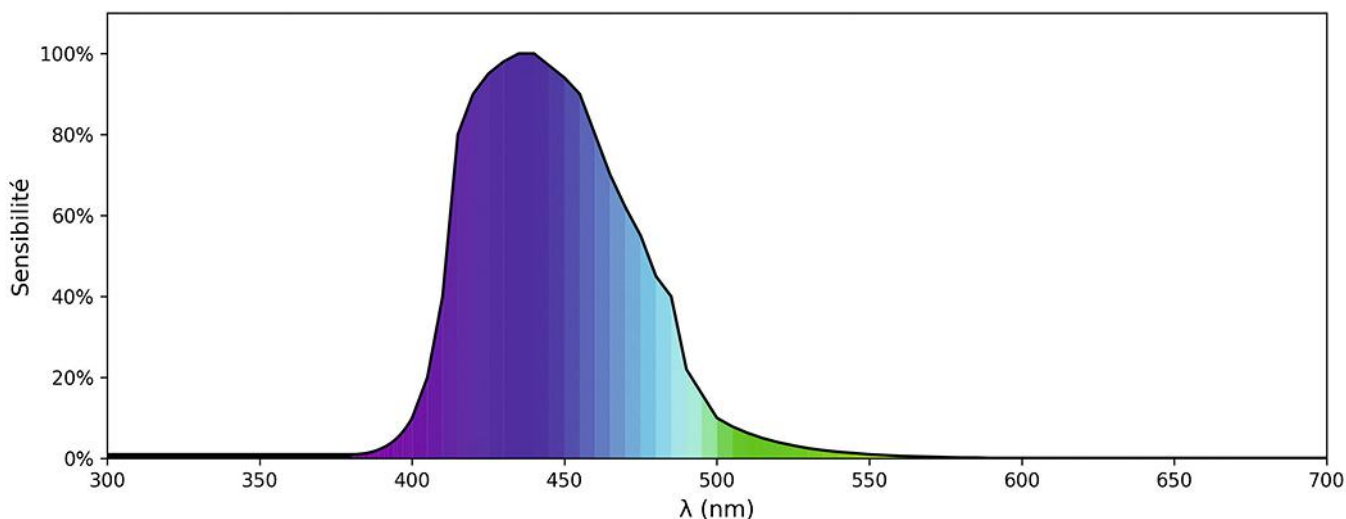
L'horloge biologique

L'être humain possède une horloge biologique interne [6] qui régule de nombreux processus physiologiques selon un rythme d'environ 24 heures, appelé rythme circadien. Cette horloge centrale, accompagnée par des horloges périphériques, organise différentes fonctions du corps (température corporelle, sécrétions hormonales, niveaux de vigilance, métabolisme, etc.) afin de prépa-

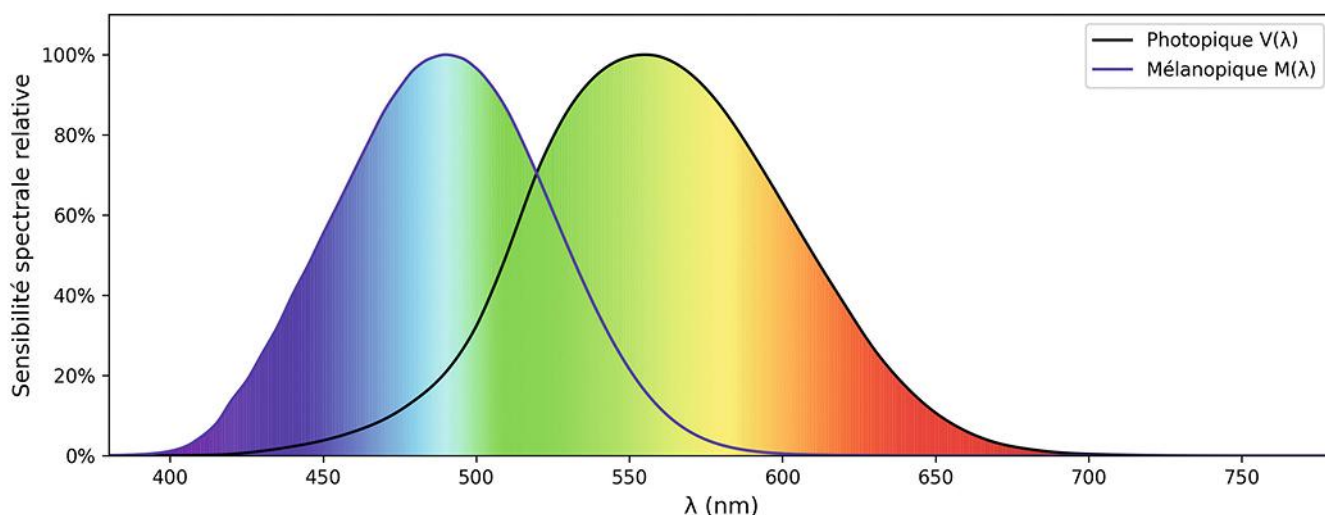
rer l'organisme aux activités de la journée ou au repos nocturne.

Cette horloge est située dans le cerveau, au niveau du noyau suprachiasmatique de l'hypothalamus. Elle fonctionne de manière autonome avec une période légèrement différente de 24 heures et doit donc être remise à l'heure quotidiennement par l'environnement extérieur, afin d'être synchronisée sur 24 heures exactement et de garantir une physiologie en harmonie : que chaque rythme soit exprimé au bon moment.

Le principal facteur (ou synchroniseur) qui permet cette mise à l'heure est la lumière, dont l'alternance jour/nuit constitue le signal le plus puissant. La lumière reçue par l'œil n'est donc pas uniquement utilisée pour la vision. Certaines cellules particulières de la rétine, appelées cellules



↑ FIGURE 1 Courbe d'efficacité $B(\lambda)$ du rayonnement optique sur la rétine, pour les effets photochimiques.



↑ FIGURE 2 Courbes de sensibilités relatives à la lumière des cellules responsables de la vision $V(\lambda)$ et de la synchronisation de l'horloge biologique $M(\lambda)$.





© Fabrice Dimier pour l'INRS / 2020

ganglionnaires à mélanopsine², transmettent, *via* des voies non visuelles spécifiques, l'information d'exposition lumineuse vers les zones cérébrales responsables de la régulation circadienne. Elles sont particulièrement sensibles aux longueurs d'onde courtes (480 nm environ), c'est-à-dire à la composante bleue de la lumière.

Une exposition lumineuse adaptée en journée permet de maintenir une bonne synchronisation de l'horloge biologique et d'exprimer les rythmes biologiques au bon moment : elle favorise la vigilance, les performances cognitives, etc. À l'inverse, une exposition inappropriée (travail de nuit ou en horaires atypiques³, locaux sans fenêtres et avec un éclairage artificiel déficient, usage prolongé d'écrans en soirée) peut dérégler ce système, entraînant à terme des troubles et des pathologies [7,8].

Éclairage mélanopique

La sensibilité des photorécepteurs de la rétine impliqués dans la vision suit la courbe photopique $V(\lambda)$, dont le maximum se situe à 555 nm dans le vert-jaune (Cf. Article pp. 30-39). Les cellules ganglionnaires à mélanopsine ont quant à elles un pic de sensibilité à 480 nm dans le bleu turquoise.

L'éclairage lumineux, exprimé en lux, correspond à la puissance d'un rayonnement optique reçu par une surface, pondéré par la fonction de sensibilité visuelle $V(\lambda)$. De manière analogue, il est possible de définir un éclairage mélanopique, également exprimé en lux mélanopiques, cette fois pondéré par la fonction de sensibilité $M(\lambda)$ (Cf. Figure 2).

Cette grandeur complémentaire permet d'évaluer et de comparer l'effet d'un rayonnement optique sur la synchronisation de l'horloge biologique.

La norme CIE S 026/E définit l'ensemble des métriques nécessaires pour comparer les différents rayonnements optiques selon leurs effets non visuels [9]. Elle introduit notamment l'EDI mélanopique (*equivalent daylight D65 illuminance*), c'est-à-dire l'éclairage équivalent à celui produit par un illuminant D65, qui représente la lumière du jour normalisée et qui produit le même effet mélanopique que la source étudiée.

Le deuxième atelier international sur la photométrie circadienne et neurophysiologique, qui s'est tenu en 2019 et qui a réuni les experts sur le sujet, a abouti en 2022 au consensus suivant sur des recommandations d'éclairage mélanopique [10] :

- éclairage diurne : le niveau recommandé est

d'au moins 250 lux EDI mélanopiques, mesurés à hauteur d'œil en position assise. La lumière naturelle doit être privilégiée pour atteindre ce niveau. En cas d'éclairage artificiel complémentaire, la lumière blanche polychromatique devrait idéalement présenter un spectre enrichi en courtes longueurs d'onde, comme celui de la lumière du jour ;

- éclairage en soirée : à partir d'environ 3 heures avant le coucher, le niveau recommandé est d'au plus 10 lux EDI mélanopiques, mesurés à hauteur d'œil. Pour cela, l'éclairage devrait, autant que possible, présenter un spectre appauvri en courtes longueurs d'onde, donc être de teinte chaude ;
- éclairage nocturne : l'environnement de sommeil doit rester aussi sombre que possible. Le niveau recommandé est d'au plus 1 lux EDI mélanopique ambiant.

Ces recommandations s'appliquent à des adultes en bonne santé, âgés de 18 à 55 ans et ayant un rythme de veille diurne et de sommeil nocturne régulier. Il convient de noter qu'il n'existe, à ce jour, ni réglementation spécifique ni norme française sur ce sujet.

Application au travail de nuit et posté

Un dossier complet, relatif au travail de nuit et posté, est déjà paru dans ces colonnes [11]. À ce jour, aucune recommandation n'existe concernant les niveaux d'éclairage à apporter aux travailleurs de nuit ou postés : les données scientifiques ne permettent pas encore d'établir des seuils fiables et spécifiques, ni des moments opportuns d'exposition. Cette absence de consensus est liée à la grande complexité d'action de la lumière sur l'horloge circadienne. Il existe une courbe de réponse de phase à la lumière : c'est-à-dire qu'en fonction du moment d'exposition, les effets sur l'horloge seront différents. Certains résultats expérimentaux suggèrent qu'une augmentation de l'éclairage mélanopique sur le lieu de travail pendant la première partie de nuit améliore la vigilance et la performance des salariés pendant le travail de nuit et favorise un sommeil de qualité après le travail. Mais ces résultats sont à généraliser avec précaution car, outre l'exposition pendant la nuit, c'est l'exposition à la lumière durant les 24 heures qui va favoriser ou entraver l'adaptation au travail de nuit. Le problème du travailleur de nuit n'est pas lié au manque de lumière, mais au cycle lumière-obscurité, l'exposition à la lumière est irrégulière et directement liée aux cycles de travail, donc variable [12].

Conclusion

L'éclairage des lieux de travail repose aujourd'hui essentiellement sur des critères visuels et sur la

prévention des risques photobiologiques, encadrés par la norme NF EN 62471. Les recherches récentes ont toutefois montré que la lumière influence aussi la santé et la vigilance par des mécanismes non visuels, mesurés notamment à travers l'éclairement mélanopique. Des recommandations internationales existent désormais pour la population générale adulte, mais elles ne sont pas encore traduites en normes ou en réglementation en France.

Dans ce contexte, la conception de l'éclairage doit continuer à garantir la sécurité et la performance visuelle, tout en s'appuyant sur les connaissances scientifiques disponibles pour limiter les risques et assurer la santé des salariés. ●

1. *Aversion (physiologique) : détournement du regard dans le cas d'une source trop éblouissante, ou retrait du corps près d'une source de chaleur brûlante.*

2. *Ou ipRGC : en anglais intrinsically photosensitive retinal ganglion.*

3. *Voir : <https://www.inrs.fr/actualites/travail-nuit.html>*

BIBLIOGRAPHIE

[1] **INRS** – Rayonnements optiques. Ce qu'il faut retenir. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-optiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>

[2] **INRS** – Rayonnements optiques. Éclairage à led. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-optiques/eclairage-led.html>

[3] **NORME NF EN 62471** – Sécurité photobiologique des lampes et appareils utilisant des lampes. Afnor, 2008. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[4] **DIRECTIVE 2014/35/UE** du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0035&from=FR>

[5] **NORME NF EN IEC 62471-7** – Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes - Partie 7 : sources de lumière et lumineuses qui émettent principalement un rayonnement visible. Afnor, 2023. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[6] **GRONFIER C.** – Physiologie de l'horloge circadienne endogène : des gènes horloges aux applications cliniques. *Médecine du sommeil*, 2009, 6, pp. 3-11. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.msom.2009.02.002>

[7] **ANSES** – Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit. Anses, 2016. Accessible sur : <https://www.anses.fr/sites/default/files/AP2011SA0088Ra.pdf>

[8] **ANSES** – Effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des diodes électroluminescentes (led). Anses, 2019. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/content/led-et-lumi%C3%A8re-bleue>

[9] **CIE S 026/E:2018** – CIE system for metrology of optical radiation for ipRGC-influenced responses to light. CIE, 2018. Accessible sur : <https://doi.org/10.25039/S026.2018>

[10] **BROWN T.M. ET AL.** – Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biology*, 2022, 20, e3001571. Accessible sur : <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>

[11] **GAUTIER M., WEIBEL L. ET AL.** – Travail de nuit et posté : état des connaissances et prévention en milieu professionnel. *Hygiène & sécurité du travail*, 270, DO 39, pp. 21-58. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2039>

[12] **GRONFIER C.** – Lumière : régulation du système circadien et du sommeil. 2021 [consulté en septembre 2025]. Accessible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=dgJJ5NB9bwI>