

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

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

Avis de l'Anses
Rapports d'expertise collective

Avril 2019 - Édition scientifique



9 Conclusions du groupe de travail

Le groupe de travail a synthétisé les éléments importants mis en évidence par l'expertise sous forme de questions-réponses.

Quelles sont les évolutions de la technologie des LED depuis 2010 en France ?

Le premier rapport de l'Anses sur les effets potentiels de l'exposition aux LED sur la santé, publié en 2010, avait permis d'attirer l'attention sur les dangers potentiels induits par les éclairages à LED. L'offre, en matière d'éclairage domestique, s'est *a priori* améliorée, avec une évolution des caractéristiques techniques des LED : des lumières plus « chaudes », des groupes de risque photobiologique *a priori* inférieurs à 2, et des lumières parfois moins éblouissantes qu'auparavant. En parallèle, les domaines d'application des LED se sont beaucoup élargis. De plus, on a vu apparaître sur le marché des sources LED blanches de nouvelles technologies à base de LED émettant partiellement dans le domaine ultraviolet et proposant des meilleurs rendus de couleur, mais dont le spectre de rayonnement exposerait la rétine à des risques accrus de phototoxicité.

À quels types de LED s'intéresse ce rapport d'expertise ?

La présente expertise s'intéresse non seulement à l'éclairage général et à l'éclairage automobile, mais aussi aux objets intégrant des LED (jouets, signalisation, objets de décoration, etc..) et aux écrans à LED (téléphones mobiles, y compris *smartphones*, écrans d'ordinateurs, tablettes, téléviseurs).

Quelles sont les spécificités du rayonnement émis par les LED ?

Les spécificités des LED résident d'une part dans le type de rayonnement émis et d'autre part dans les caractéristiques physiques des lampes utilisant cette technologie.

D'une part, le spectre des LED peut plus riche en lumière bleue (il existe des lumières avec des températures de couleur très élevées fournissant une lumière très froide, supérieur à 6 000 K) mais aussi plus pauvre en lumière rouge que la plupart des autres sources lumineuses, naturelles et artificielles. On parle ici de déséquilibre spectral. L'excès de lumière bleue dans le spectre des LED par rapport aux autres sources lumineuses pose la question des effets de la lumière des lampes à LED sur la rétine (effets phototoxiques) mais aussi sur les rythmes circadiens et le sommeil (effets mélanopiques). Le déficit en lumière rouge des LED pourrait par ailleurs priver des effets photoprotecteurs potentiels du rayonnement situé dans cette bande spectrale, notamment lors du processus physiologique d'émétopisation qui se produit dans l'enfance.

D'autre part, les lumières à LED peuvent être plus éblouissantes que les lumières émises par d'autres technologies (incandescence, fluo-compactes, halogènes, etc.). Cela peut être le cas notamment des matrices de LED, des spots à LED, des feux automobiles et des lampes torches.

Enfin, les LED sont très réactives aux fluctuations de leur courant d'alimentation. De ce fait, selon la qualité du courant injecté, des variations de lumière peuvent apparaître, suivant la fréquence et le niveau de ces variations. Ces phénomènes sont regroupés sous la terminologie de « modulation temporelle de la lumière ». L'Homme peut subir des effets néfastes de ces variations, qu'elles soient ou non visuellement perceptibles. Actuellement, sur le marché, il existe des sources de lumière à LED ne présentant aucune modulation temporelle de l'intensité lumineuse, et d'autres qui présentent des taux de modulation à 100 Hz très importants (> 30 %), comparables et même supérieurs aux anciennes

générations de tubes fluorescents à ballast magnétique, désormais bannis par la réglementation européenne

Quelles sont les spécificités de ces travaux d'expertise ?

Cette expertise recense de manière exhaustive les effets de la lumière émise par les LED sur l'Homme, la faune et la flore.

De part la caractéristique particulière des LED à produire une lumière riche en courtes longueurs d'onde, c'est à dire dans le bleu, et un déséquilibre spectral par rapport aux autres sources de lumière et par rapport à la lumière naturelle, les effets sanitaires qui pourraient être liés à cette lumière froide (phototoxicité, perturbation des rythmes circadiens notamment) ont été évalués. Les effets liés aux autres caractéristiques de cet éclairage, comme leur aspect ponctuel (éblouissement) ou la modulation temporelle ont également été investigués. La question du déséquilibre spectral (rapport des intensités lumineuses entre le bleu et le rouge) a aussi été abordée.

Parallèlement à l'évaluation des effets de ces caractéristiques, plusieurs campagnes de mesures ont été menées pour décrire la nature de la lumière émise par des systèmes à LED du quotidien (lampes pour l'éclairage, objets intégrant des LED, projecteurs automobiles et écrans) et la quantifier. Les expositions induites par ces systèmes à LED ont été évaluées, dans le cadre de scénarios de vie, grâce à des mesures réalisées *in situ* dans des environnements spécifiques.

Au regard de l'évaluation du niveau de preuve des effets sanitaires étudiés et des données d'exposition obtenues, l'expertise a identifié si des effets spécifiques aux LED existent et si l'exposition à ces systèmes peuvent induire un risque pour la santé de l'Homme et de son environnement. L'influence du passage à la technologie LED dans différentes catégories d'éclairage et d'affichage sur la pollution lumineuse a également été évaluée.

Enfin, en parallèle de la diffusion de la technologie LED sur le marché et en raison des effets suspectés de la lumière bleue sur la santé, de nombreux moyens de protection se sont développés, l'évaluation de leur capacité à filtrer le bleu a également été déterminée.

Quels effets sanitaires ont été étudiés ?

Pour étayer son argumentaire scientifique, le groupe de travail a effectué une revue de la littérature (2010 - 2017) sur les effets suspectés de la lumière bleue afin d'en évaluer les niveaux de preuve associés. Les effets sanitaires abordés dans le cadre de la présente expertise sont les suivants :

- les effets de la lumière bleue sur les rythmes circadiens (perturbation de l'horloge circadienne) ;
- les effets de la lumière bleue sur le sommeil et sur la vigilance (retard de sommeil et altération de la quantité et qualité du sommeil) ;
- les effets de la lumière bleue et des différents types de LED sur l'œil (phototoxicité, sécheresse oculaire, myopisation) ;
- les effets de la lumière bleue sur la peau ;
- les effets de la modulation temporelle de la lumière sur la santé ;
- les effets liés à l'éblouissement.

Quels sont les effets de la lumière bleue et des LED sur les rythmes circadiens et quel est le risque associé ?

Compte tenu des éléments de preuve suffisants chez l'Homme, la perturbation des rythmes circadiens par l'exposition à une lumière riche en lumière bleue en soirée ou la nuit est avérée.

Les lumières à LED, particulièrement si elles sont froides (écrans de téléviseurs, d'ordinateurs, de *smartphones*, de tablettes, éclairages domestique blanc froid) sont susceptibles de perturber les rythmes circadiens compte tenu de leur déséquilibre spectral (rayonnement riche en bleu).

Compte tenu de l'exposition croissante (choisie ou subie) de la population aux systèmes à LED en soirée ou la nuit, et du déséquilibre spectral des LED, le groupe de travail estime que l'exposition aux LED en soirée ou la nuit peut induire un risque élevé de perturbation circadienne. La perturbation des rythmes circadiens est impliquée, avec d'autres facteurs, dans la survenue de nombreux effets sanitaires : perturbation de la qualité et de la durée du sommeil, troubles métaboliques, cancer, obésité, pathologies cardiovasculaires, effets sur la santé psychique, ... Cependant, le lien direct entre l'exposition à la lumière riche en bleu la nuit et ces effets sanitaires, bien que fortement suspecté, n'est pas établi à ce jour chez l'Homme.

Quels sont les effets de la lumière bleue et des LED sur le sommeil et la vigilance ?

La plupart des travaux scientifiques disponibles montrent que la lumière bleue altère la régulation du sommeil par le biais des perturbations circadiennes. Les éléments de preuve chez l'Homme sont suffisants pour conclure à un effet avéré de l'exposition à une lumière riche en bleu en soirée sur la latence à l'endormissement, la durée et la qualité du sommeil. De ce fait, les technologies à LED, enrichies en lumière bleue sont susceptibles de nuire à la durée et à la qualité de sommeil.

Quels sont les effets de la lumière bleue et des LED sur l'œil ?

En ce qui concerne les effets d'une lumière riche en bleu sur la toxicité rétinienne, le groupe de travail conclut que :

- l'effet de l'exposition à court terme à la lumière riche en bleu sur la toxicité rétinienne est avéré ;
- l'effet de l'exposition à long terme à la lumière riche en bleu sur la contribution à la survenue de DMLA est avéré ; cependant, les effets à long terme des éclairages artificiels ne sont à ce jour pas étudiés ;
- l'effet de la lumière riche en bleu sur la survenue du syndrome de l'œil sec est possible ;
- l'effet de la lumière riche en bleu sur le développement de la myopie est possible.

Les résultats obtenus en matière d'exposition montrent que la dose de lumière reçue dans la bande de longueurs d'ondes phototoxiques peut être importante avec les éclairages artificiels, et en particulier avec les LED, tout particulièrement les LED blanc froid.

Avec des LED à usage domestique blanc chaud, le groupe de travail conclue qu'il n'y a pas de risque toxicité aigüe.

Par contre, certains objets et jouets sont équipés de LED de groupe de risque 2 et exposent donc à un risque phototoxique aigu.

Les phares automobiles à LED exposent aussi à un risque phototoxique aigu, en particulier pour les enfants.

Les effets cités ci-dessus sont corrélés à la quantité de rayonnement bleu émis par les systèmes de lumière artificielle, et notamment les systèmes à LED. Les systèmes à LED peuvent émettre une lumière riche en bleu et une moindre quantité relative de rayonnement rouge, induisant ainsi un important déséquilibre spectral majorant les effets toxiques.

Les valeurs limites d'exposition (VLE) relatives à la toxicité rétinienne de la lumière pour les effets court terme et long terme sont elles suffisamment protectrices ?

De nombreuses études montrent que les VLE pour la toxicité rétinienne de la lumière ne sont pas suffisamment protectrices. Hunter et ses collaborateurs (Hunter *et al.*, 2012) ont estimé que ces VLE étaient sous-estimées d'un facteur 20 par rapport à une VLE vraiment protectrice. Le groupe de travail souligne, de plus, que ces VLE ne sont proposées que pour une exposition court terme et éludent la question d'une exposition au long terme. Le groupe de travail attire l'attention sur les nouveaux systèmes UV-LED qui pourraient échapper à la réglementation mais présenter des risques phototoxiques.

Quels sont les effets des LED sur l'éblouissement et le confort visuel ?

Les LED présentent des niveaux de luminance assez disparates selon les sources de lumière testées, certaines applications vont donc pouvoir conduire à un risque plus important d'éblouissement (lampes torches, phares automobiles, spots à LED, ...). Les effets à long terme de la répétition de ces éblouissements ne sont pas connus à ce jour.

En ce qui concerne le confort visuel, l'inconfort apporté par des matrices de LED est établi. La technologie à LED est capable de produire des lumières ayant un meilleur rendu de couleur aujourd'hui qu'il y a quelques années, mais qui reste encore perfectible.

Compte tenu des niveaux d'exposition associés à un usage des éclairages à LED dans l'espace domestique et résidentiel, dans les transports et dans l'espace public, ainsi que des évolutions dans la fabrication des LED commerciales, le groupe de travail estime le niveau de risque d'éblouissement et d'inconfort modéré.

Quels sont effets de la modulation temporelle de la lumière émise par les LED ?

Selon la fréquence de la modulation temporelle de la lumière, plus ou moins élevée, les effets associés sont différents. Par exemple, pour des fréquences de modulation inférieures à 70 Hz, la modulation peut être perceptible par l'œil selon le taux de modulation (phénomène de papillotement), et pour certaines fréquences particulières, des crises d'épilepsie peuvent survenir chez des populations sensibles. À des fréquences plus élevées (> 80 Hz), des phénomènes comme l'effet stroboscopique (lorsqu'un objet est en mouvement) ou l'effet de réseau fantôme (lors d'une saccade visuelle) peuvent se produire. Dans tous ces cas, la modulation temporelle de la lumière est associée à un inconfort visuel et à une diminution de l'ergonomie visuelle des postes de travail dans le cadre professionnel.

Les fréquences de modulation des lampes et luminaires à LED sont en général trop élevées pour que le papillotement apparaisse.

Il subsiste néanmoins une probabilité élevée de papillotement lors d'une exposition à des lampes et luminaires à LED présentant une modulation temporelle anormale (lampe à LED défectueuse, incompatibilité entre un variateur et une lampe à LED, etc.). Dans un contexte industriel ou domestique, il est vraisemblable que la perception de l'effet stroboscopique impacte la sécurité de l'Homme lors de l'usage de machines ou d'outils. L'effet stroboscopique est particulièrement visible avec des lampes et luminaires à LED ayant une forte modulation temporelle à 100 Hz en particulier lors de mouvements corporels dans le champ de vision de l'observateur.

Lors d'une saccade visuelle, il est possible, sous certaines conditions, de percevoir un effet de « réseau fantôme ». Certaines lampes et luminaires à LED possèdent des niveaux de modulation suffisamment élevés pour que l'effet de réseau fantôme soit perceptible, spécialement en situation de conduite automobile. Le risque d'inconfort visuel associé à l'effet de réseau fantôme est élevé.

L'effet de la lumière modulée sur le déclenchement de crises d'épilepsie est avéré. La possibilité de déclenchement de crises résultant de l'exposition des sujets épileptiques aux lampes et luminaires à LED est faible, car les fréquences de modulation sont trop élevées pour être déclenchantes. Il subsiste néanmoins une possibilité plus élevée de déclenchement de crises d'épilepsie dans la population des sujets épileptiques lors d'une exposition à des lampes et luminaires à LED présentant une modulation temporelle

anormale (produits défectueux ou incompatibilité avec le variateur). Un point de vigilance est à apporter en ce qui concerne les feux à LED des vélos. En effet, ces éclairages sont modulés en tout ou rien (pourcentage de modulation de 100 %) selon la vitesse de rotation des roues. À certaines vitesses, les modulations temporelles se situent dans la bande la plus critique pour le déclenchement de crises d'épilepsie, autour de 15 Hz.

La littérature scientifique rapporte l'existence d'effets comme les maux de tête, la migraine, la fatigue visuelle associés à des fréquences de modulation temporelle comprises entre 80 et 120 Hz, les éléments de preuve associés sont limités chez l'Homme. Le risque associé à ces effets pour une exposition aux LED est indéterminé.

Quels sont les effets des LED sur la peau ?

La lumière bleue pourrait avoir un effet négatif sur la peau, majorant le vieillissement et retardant la cicatrisation de la peau alors que l'exposition à des longueurs d'onde comprise entre 590 et 630nm (lumière rouge) auraient des effets inverses. La lumière bleue peut avoir des effets bactéricides sur la peau et est utilisée dans cette indication. Compte tenu des niveaux d'exposition associés à un usage domestique des éclairages à LED et de la faible profondeur de pénétration des rayonnements optiques bleus dans la peau, les risques de toxicité pour la peau liés à une exposition à la lumière bleue des LED sont faibles.

Le groupe de travail attire l'attention sur l'effet cancérigène (induction de mélanome) retardé induit par une luminothérapie à LED bleues sur l'ictér néonatal.

Existe-t-il des populations sensibles dans la population générale ? Dans la population professionnelle ?

Le groupe de travail a identifié différentes populations sensibles :

- dans la population générale :
 - pour les effets liés à la lumière bleue
 - phototoxicité,
 - nourrissons, enfants, adolescents, jeunes adultes (cristallin clair);
 - personnes aphakes (absence de cristallin) et pseudo-phakes (cristallin artificiel) ;
 - personnes souffrant de pathologies oculaires (œil sec, DMLA, glaucome, rétinopathies..) ;
 - personnes souffrant de troubles moteurs ou cognitifs qui réduisent les capacités d'évitement ou de prise de décision.
 - personnes prenant des médicaments photosensibilisants ;
 - dérégulation des rythmes circadiens dans le cas d'une exposition en soirée
 - nourrissons, enfants, adolescents, jeunes adultes (cristallin clair);
 - personnes aphakes (absence de cristallin) et pseudo-phakes (cristallin artificiel)
 - femmes enceintes (potentiels effets sanitaires sur l'enfant à naître) ;
 - personnes âgées (cristallin opaque) ;
 - personnes souffrant de troubles du sommeil ;
 - pour les effets liés à la modulation temporelle de la lumière :
 - personnes souffrant de migraines ;

- personnes souffrant d'épilepsie ;
- adolescents et jeunes adultes, plus sensibles aux contrastes spatio-temporels ;
- dans les populations professionnelles :
 - pour les effets liés à la lumière bleue (phototoxicité, dérégulation des rythmes circadiens) :
 - les travailleurs de nuit ;
 - toute profession exposée de manière importantes aux éclairages à LED (les chirurgiens, les dentistes, les éclairagistes, les revendeurs d'éclairages, les professions de la scène, les personnes travaillant dans les installations sportives, les personnes travaillant dans l'agroalimentaire utilisant des LED (serres, aquaculture), ...).
 - pour les effets liés à la modulation temporelle de la lumière :
 - opérateurs de machines et d'outils
 - les conducteurs de véhicules

Quelles sont les spécificités de l'exposition aux LED ?

L'addition d'un éclairage artificiel à l'éclairage naturel est de nature à modifier les doses oculaires reçues par la cornée et par la rétine dans les bandes phototoxique et mélanopique (jusqu'à 50% d'augmentation) :

- les éclairages à LED augmentent le ratio entre la lumière bleue (dans les bandes phototoxique et mélanopique) et la lumière rouge par rapport à d'autres éclairages à température de couleur égale ;
- l'exposition dans la bande phototoxique est d'autant plus importante que la température de couleur est élevée que l'éclairage soit un éclairage LED ou non LED ;
- l'exposition dans la bande mélanopique est plus importante avec des éclairages à LED froides ;
- l'exposition à des écrans à LED augmente l'exposition dans la bande mélanopique.

La technologie à LED peut exposer à une modulation temporelle potentiellement importante et non visuellement perceptibles.

Les sources lumineuses à LED dans l'environnement domestique présentent-elles plus de risques pour la santé que les autres types de sources ?

Les dangers intrinsèques des éclairages artificiels reposent sur différentes caractéristiques physiques qui sont : la distribution spectrale (d'où découlent la température de couleur et le ratio entre la lumière bleu et la lumière rouge), la luminance, le pourcentage et les fréquences de modulation temporelle. Certaines de ces caractéristiques sont réglementées, d'autres non. Le risque associé dépend de l'exposition. Certaines LED de part leurs caractéristiques intrinsèques ou de part un usage inadapté peuvent exposer à des risques sanitaires supérieurs aux autres types de sources lumineuses (exposition augmentée dans la bande phototoxique, exposition augmentée dans la bande mélanopique en soirée, risques liés à la modulation temporelle de la lumière).

Cependant, la technologie des éclairages à LED permettrait de produire une lumière dont les caractéristiques sont optimales et supérieures aux autres sources sous condition qu'ils soient bien conçus et bien utilisés.

L'usage des dispositifs ou objets à LED présente-t-il des risques pour la santé ?

Alors que, dans l'éclairage général, la réglementation impose une limitation au niveau 1 du groupe de risque photobiologique, les mesures physiques effectuées dans le cadre de cette expertise montrent que certains dispositifs appartiennent à des groupes de risques photobiologiques de niveau 2 : des projecteurs automobiles « full LED » (notamment les feux de croisement), des jouets, des lampes torches, des lampes frontales, phares automobiles On note par ailleurs l'apparition sur le marché de LED bleues décoratives et l'utilisation des LED dans un nombre croissant d'applications. Le risque photobiologique est d'autant plus important pour les enfants qui sont exposés à courtes distances (jouets, phares automobiles) et ont un cristallin transparent.

L'existence sur le marché de produits à LED appartenant à un groupe de risque 2, non seulement expose à un risque phototoxique aigu, mais pose la question des effets à long terme associés à des expositions répétées de courtes durées à ce type de lampes, notamment pour les enfants.

Le passage aux LED va-t-il avoir des effets sur la pollution lumineuse ?

Le rapport propose une évaluation des effets du passage aux LED de l'ensemble des sources d'éclairage et d'affichage extérieur sur la pollution lumineuse. Différents aspects ont été considérés, liés au halo nocturne, aux nuisances pour l'Homme (lumière intrusive, débordements lumineux, éblouissement, rythmes circadiens) et aux écosystèmes et à la biodiversité. Selon les différentes catégories d'éclairage, le passage aux LED peut être favorable ou non.

Les catégories responsables des plus grandes augmentations de la pollution lumineuse dues aux LED sont : les enseignes, affiches et publicités lumineuses, ainsi que l'éclairage des zones commerciales, des zones agricoles (y compris les serres horticoles) et des zones industrielles. L'éclairage des parkings extérieurs de ces zones est également concerné. Dans ces catégories, la tendance est à l'augmentation du nombre et de l'intensité des points lumineux.

Le passage aux LED de l'éclairage public (éclairage des rue et des routes) et l'éclairage intérieur des bâtiments, pourraient peut être réduire la pollution car la lumière est plus circonscrite et les flux lumineux peuvent être abaissés. Ceci n'est vrai que si le nombre de points lumineux reste constant.

Il est difficile actuellement de juger de l'évolution globale, toutes catégories confondues, de l'impact sur la pollution lumineuse résultant du passage aux LED.

Les éclairages à LED peuvent-ils avoir des effets spécifiques sur l'environnement ?

La diversité des réponses métaboliques, physiologiques et comportementales à la lumière 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. Des modifications de ces réponses 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 existe également des effets indirects, observables à moyen et à long terme, sur les populations dans leurs écosystèmes. Les approches doivent donc considérer aujourd'hui chaque espèce indépendamment mais aussi la place qu'elle occupe dans l'écosystème, dont l'Homme est partie intégrante.

Les études d'impact des LED et de la lumière la nuit sur le vivant ne peuvent être dissociées. Les recherches sur les premières s'appuient encore beaucoup sur celles menées sur la lumière la nuit et elles concernent encore un nombre très limité d'espèces. La tendance générale, quel que soit l'écosystème étudié, montre (à long terme) une augmentation de la mortalité et un appauvrissement des espèces animales et végétales étudiées dans les milieux éclairés la nuit, notamment par éclairages à LED.

Les effets de la lumière la nuit, notamment issues d'éclairage à LED sur la faune et la flore et les écosystèmes sont donc avérés. Ces effets correspondent globalement à ceux de

l'éclairage nocturne, parmi lesquels il faut distinguer les spécificités apportées par les LED (intensité, composition spectrale). Ces effets viennent s'ajouter aux autres pressions anthropiques subies par les espèces animales et végétales (pollution chimique, barrières géographiques, réduction de l'espace vital, surexploitation...). Le nombre limité d'études comparativement à l'immense variété des systèmes biologiques de capture et traitement de l'information visuelle existants, laisse supposer un impact majeur et variable selon les régions concernées.

Enfin, l'éclairage diurne ou nocturne (quelle que soit sa nature) n'est pas la seule pression anthropique exercée sur la nature. L'extension continue des activités humaines, industrielles, les nuisances physiques et chimiques auxquelles viennent s'ajouter les effets du changement climatique constituent autant de facteurs auxquels certaines populations animales seront vraisemblablement incapables de faire face, ce qui entraînera une accélération de la perte de la biodiversité. Les données impliquant l'action combinée de ces multiples facteurs perturbants sont encore rarissimes.

10 Recommandations du groupe de travail

Le groupe de travail formule différentes recommandations visant à protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition aux LED.

Recommandations liées à la perturbation des rythmes circadiens

Considérant les risques liés à la perturbation des rythmes circadiens, le groupe de travail recommande :

- de limiter l'exposition à des lumières froides (> 4 000 K) et à fort déséquilibre spectral bleu/ rouge pendant la nuit et surtout avant le coucher (particulièrement pour certaines populations : enfants, adolescents, femmes enceintes..) ; en particulier, le groupe de travail recommande de ne pas utiliser de veilleuse à lumière froide pour les nourrissons et les enfants ;
- de renforcer le contraste lumineux entre le jour et la nuit en augmentant l' exposition à la lumière naturelle en journée et en limitant l' exposition à la lumière artificielle en soirée ou la nuit ;
- d'augmenter l'exposition à la lumière bleue des personnes âgées en journée afin de stimuler la synchronisation de leurs rythmes circadiens ;
- limiter l'exposition des femmes enceintes à la lumière la nuit et les informer des potentielles conséquences sur l'enfant porté (impact sur l'horloge biologique et potentiels effets associés) d'une exposition excessive à la lumière la nuit pendant la grossesse ;
- d'informer les parents sur la nécessité de limiter l'exposition des enfants et adolescents à la lumière froide notamment avant le coucher.

Recommandations liées à la phototoxicité de la lumière et à la sécheresse oculaire

Considérant les risques liés à la phototoxicité et à la sécheresse oculaire, le groupe de travail recommande :

- d'augmenter la connaissance sur l'exposition de la population générale, de la population professionnelle et des populations sensibles (enfants, adolescents, populations souffrant de pathologies oculaires, personnes aphakes, ...) à la lumière artificielle ;
- de mener des études prospectives à long terme de relation entre l'exposition aux lumières artificielles (relativement à leur spectre et à leur niveau de modulation temporelle) et la survenue de pathologies oculaires (DMLA, myopie, ...) ;
- de mener des recherches permettant de redéfinir les valeurs limites d'exposition à la lumière bleue lors d'une exposition chronique ;
- de mener des recherches visant à définir les VLE en utilisant des indicateurs de toxicité infra cliniques ;
- de mener des recherches pour définir les effets de la lumière bleue sur la survenue ou l'aggravation d'un syndrome d'oeil sec ou d'une dysfonction des glandes de Meibomius ;
- de limiter l'exposition de la population aux lumières froides et aux lumière bleues utilisées pour la décoration et notamment la nuit ;
- d'alerter la population sur le possible risque phototoxique des objets à LED ;

- d'imposer le marquage du groupe de risque photobiologique (selon la norme NF EN 62471) pour les éclairages domestiques mais aussi pour les objets à LED et interdire la commercialisation d'objet à LED en groupe de risque >1 ;
- de sensibiliser la population sur le risque d'une exposition à certains phares automobiles notamment pour les populations les plus sensibles, de recommander aux parents de veiller à ce que les enfants ne fixent pas du regard les phares automobiles ;
- de demander aux constructeurs de véhicules d'utiliser des phares de groupe de risque inférieur ou égal à 1, notamment pour les feux de croisement.

Recommandations liées au confort visuel et à l'éblouissement

Concernant la caractérisation du confort visuel et de l'éblouissement des LED, le groupe de travail recommande :

- d'exclure les sources à barrettes ou à matrices de LED nues du champ de vision ;
- d'effectuer des mesures fines de la distribution des luminances, par exemple à l'aide de vidéoluminancemètres, pour pouvoir mesurer les luminances maximales des sources ;
- d'utiliser des spectroradiomètres pour obtenir et rendre accessible au consommateur la répartition spectrale d'énergie des sources ;
- d'augmenter la connaissance sur la sensibilité des sujets migraineux au contenu spectral de la lumière.

Recommandations liées à la modulation temporelle de la lumière

Concernant la prise en compte de la modulation temporelle dans la conception des équipements d'éclairage à LED le groupe de travail recommande :

- de concevoir des produits exempts de modulation temporelle ou bien possédant des modulations temporelles à haute fréquence (au-delà de 1 ou 2 kHz) ;
- de poursuivre les efforts de normalisation des équipements de contrôle-commande, comme les dispositifs de gradation de lumière, pour en garantir la compatibilité avec les lampes et les luminaires à LED.

Concernant la normalisation relative à la modulation temporelle de la lumière, le groupe de travail recommande :

- d'inclure des limites dans les normes de sécurité au niveau européen. Celles-ci étant harmonisées avec la réglementation européenne (directive Basse Tension), les limites normatives devront acquérir un caractère obligatoire ;
- d'introduire des limites de modulation temporelle dans les normes d'éclairagisme au niveau européen. Les normes particulièrement importantes sont les suivantes : normes d'éclairage des lieux de travail intérieurs et extérieurs, la norme d'éclairage des installations sportives, les normes d'éclairage public ;
- d'élaborer une norme métrologique précisant les conditions de mesures de la modulation temporelle et de calcul des indices associés au niveau européen.

Concernant la réglementation européenne relative aux lampes et luminaires à LED, le groupe de travail recommande :

- que des limites soient fixées de manière réglementaire au niveau européen pour limiter les effets biologiques et sanitaires avérés provoqués par la modulation temporelle de la lumière émise par les lampes et luminaires à LED ;

- que les futures limites réglementaires intègrent l'ensemble des effets biologiques et sanitaires connus, susceptibles de se manifester lors de l'exposition aux modulations temporelles des lampes et luminaires à LED ;
- que les limites à intégrer dans la réglementation européenne soient au moins équivalentes au niveau de risque faible de la norme américaine IEEE 1789 (inférieur à 8 % à 100 Hz) ;
- d'introduire dans la réglementation UNECE des feux automobiles (feux avant et feux arrière) une fréquence minimale de modulation de l'ordre de 2 kHz lorsque les feux sont utilisés en mode PWM. Cette recommandation permet de limiter la visibilité de l'effet de réseau fantôme, source de perturbations visuelles avérées.

Concernant les connaissances à approfondir sur les effets visuels liés à la modulation temporelle de la lumière, le groupe de travail recommande :

- que des études soient effectuées pour mieux cerner les variations de la sensibilité aux contrastes temporels parmi la population générale ;
- d'étudier la validité de l'indice SVM (*stroboscopic visibility measure*, indice de visibilité de l'effet stroboscopique) dans des contextes autres que l'éclairage de bureau dans lequel il a été construit ;
- que des études permettant de quantifier les risques de l'effet stroboscopique vis-à-vis des accidents lors d'utilisation de machines et d'outils spécifiques (métallurgie, l'automobile et la construction, etc) soient menées.
- d'approfondir la connaissance et les conséquences de l'effet de réseau fantôme.

Concernant les connaissances à approfondir sur les effets biologiques et sanitaires de la modulation temporelle, le groupe de travail recommande :

- de mieux comprendre les mécanismes neurophysiologiques des effets biologiques et sanitaires de la lumière modulée. Il faudrait notamment explorer les relations entre les doses (durée d'exposition, éclairements, fréquences et pourcentage de modulation, etc.) et les effets associés (migraines et maux de tête) ;
- de mener des études épidémiologiques et des études de provocation pour mieux comprendre les mécanismes de ces effets et connaître leur prévalence et leur incidence dans la population.

Concernant les connaissances sur l'exposition de la population à la modulation temporelle de l'éclairage le groupe de travail recommande :

- d'étudier l'exposition à la lumière modulée dans des environnements réalistes en considérant différentes sources de lumières, pouvant être mobiles (véhicules par exemple), des durées d'expositions plus longues (heures, jours, semaines) et des spectres lumineux variables.

Recommandations liées à la pollution lumineuse

Concernant les actions à mener pour limiter le halo nocturne, le groupe de travail recommande :

- pour l'éclairage public : de promouvoir une gestion intelligente (détection, programmation, gradation, abaissement nocturne), le contrôle précis de la directivité (pas de lumière vers le ciel), l'abaissement des températures de couleur, rendus possibles par la technologie LED ;
- pour l'éclairage de mise en valeur architecturale et paysagère : de limiter le nombre d'installations lumineuses, diminuer les niveaux de luminance, utiliser moins de lumière bleue, éteindre ces installations pendant la nuit (programmation horaire), rendue possible par la technologie LED ;

- pour l'éclairage de mise en valeur architecturale et paysagère : de limiter le nombre d'installations lumineuses, diminuer les niveaux de luminance, utiliser moins de lumière bleue, éteindre ces installations pendant la nuit, (programmation horaire), rendue possible par la technologie LED ;
- pour les enseignes et affiches lumineuses : de limiter le nombre d'installations lumineuses, diminuer les niveaux de luminance, utiliser moins de lumière bleue, éteindre ces installations pendant la nuit (en respectant le décret de juillet 2012 sur l'extinction des enseignes lumineuses entre 1h et 6h du matin), limiter la lumière émise vers le ciel ;
- pour l'éclairage des zones commerciales, industrielles et agricoles, y compris les parkings : de limiter les flux lumineux (puissance lumineuse des sources) et/ou le nombre de points lumineux (et limiter la lumière émise vers le ciel).

Concernant les actions à mener pour limiter les lumières intrusives, le groupe de travail recommande :

- pour l'éclairage public : de continuer à promouvoir d'une gestion intelligente (détection, programmation, gradation, abaissement nocturne) et le contrôle de la lumière intrusive, rendu possible par la technologie LED ;
- pour l'éclairage de mise en valeur architecturale et paysagère : de diminuer les niveaux de luminance et contrôler les flux pour éviter la lumière indésirable. Eteindre ces installations pendant la nuit ;
- pour les enseignes et affiches lumineuses : de limiter le nombre d'installations lumineuses, diminuer les niveaux de luminance, éteindre ces installations pendant la nuit ;
- pour l'éclairage automobile : de faire évoluer les normes et réglementations sur l'éclairage automobile pour tenir compte de la phototoxicité des LED et des éblouissements des piétons, en particulier des enfants et de développer des technologies LED moins éblouissantes ;
- pour l'éclairage des zones commerciales, industrielles et agricoles, y compris les parkings : de limiter les flux lumineux et/ou le nombre de points lumineux ;
- d'appliquer la réglementation existante d'extinction de l'éclairage intérieur des bâtiments non résidentiels en-dehors des heures d'occupation.

Concernant les recommandations pour limiter les impacts sur les écosystèmes et la biodiversité, le groupe de travail recommande :

- pour l'éclairage public : promouvoir une gestion intelligente (détection, programmation, gradation, abaissement nocturne), le contrôle de la lumière incidente sur les zones naturelles proches des luminaires est à faire car il est techniquement possible avec les luminaires LED ;
- pour l'éclairage de mise en valeur architecturale et paysagère : de ne pas éclairer les monuments et ouvrages d'art proches de zones naturelles sensibles (rivières, rivages, réserves naturelles), de ne pas éclairer les arbres ou les jardins, diminuer les niveaux de luminance, contrôler les flux pour éviter la lumière indésirable sur les zones de végétation proches des zones à éclairer et d'éteindre ces installations en milieu de nuit ;
- pour les enseignes et affiches lumineuses : de ne pas utiliser d'enseignes ou d'affiches lumineuses dans les zones naturelles sensibles, de limiter le nombre d'installations lumineuses, diminuer les niveaux de luminance, d'éteindre ces installations en milieu de nuit, de limiter la lumière émise vers le ciel ;

- pour l'éclairage des zones commerciales, industrielles et agricoles, y compris les parkings : de limiter les flux lumineux et/ou le nombre de points lumineux ;
- d'appliquer la réglementation existante d'extinction de l'éclairage intérieur des bâtiments non résidentiels en-dehors des heures d'occupation.

Recommandations liées aux effets sur l'environnement

Concernant, les effets de l'éclairage à LED sur l'environnement :

- le groupe de travail recommande de réduire l'impact de l'éclairage par tous les moyens à sa disposition. À cette fin il convient de :
 - réduire les surfaces des zones éclairées au strict nécessaire ;
 - gérer l'intensité et le temps d'éclairage public (éteindre aux périodes les plus creuses de la nuit) ;
 - faire respecter la réglementation sur l'extinction des éclairages intérieurs et extérieurs des édifices publics et professionnels ;
 - orienter des lampes vers le sol en évitant la diffusion lumineuse ;
 - créer des espaces protégés en particulier dans les zones naturelles et périurbaines ;
 - effectuer, là où l'éclairage s'impose, un inventaire local des espèces du biotope afin d'adapter au mieux cet éclairage (durée, périodicité, qualité, intensité) aux nécessités vitales des espèces locales ;
- le groupe de travail conclut, pour ce qui est de l'utilisation des lampes LED en milieux fermés à des fins de recherches fondamentales et appliquées, de productions agroalimentaires, médicales ou industrielles, qu'il convient de s'assurer :
 - de la protection adéquate du personnel susceptible d'être affecté ;
 - que ces utilisations ne génèrent pas de produits non désirés (toxiques), d'où la nécessité d'études au cas par cas ;
 - du bon confinement, quand cela est possible, n'entraînant pas une pollution lumineuse supplémentaire vers l'extérieur.

Par ailleurs, le groupe de travail souligne la nécessité de sensibiliser les décideurs et la population sur les impacts négatifs de la lumière artificielle sur tout le vivant (afin d'en limiter l'usage) et sur les avantages économiques qu'ils peuvent tirer d'une gestion adaptée. Ce n'est qu'avec une compréhension claire et globale de ces problèmes que des stratégies de gestion efficaces pourront être développées.

Concernant l'analyse du cycle de vie, le groupe de travail recommande :

- de développer une méthodologie dans l'analyse du cycle de vie pour évaluer les impacts des sources à LED sur l'environnement et la santé humaine ;
- d'accéder aux données détaillées sur les produits entrant dans la fabrication des LED (matières premières, process) et les produits rejetés dans l'air, l'eau et les sols lors de la fabrication des LED ;
- travailler sur la fin de vie des LED : récupération et tri des produits usagers, récupération des matières premières, recyclage de certains composants des LED, traitement des déchets finaux ;
- d'effectuer une analyse à l'échelle mondiale pour évaluer les impacts environnementaux de l'adoption de la technologie à LED.



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
F94701 Maisons-Alfort cedex
www.anses.fr
[@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)

ISBN 979-10-286-0289-5 - Dépôt légal : mars 2019 - © Anses Éditions : mars 2019 - Date de publication : mars 2019 - Couverture : Parimage (création), Anses (réalisation) - Crédit photo : iStock