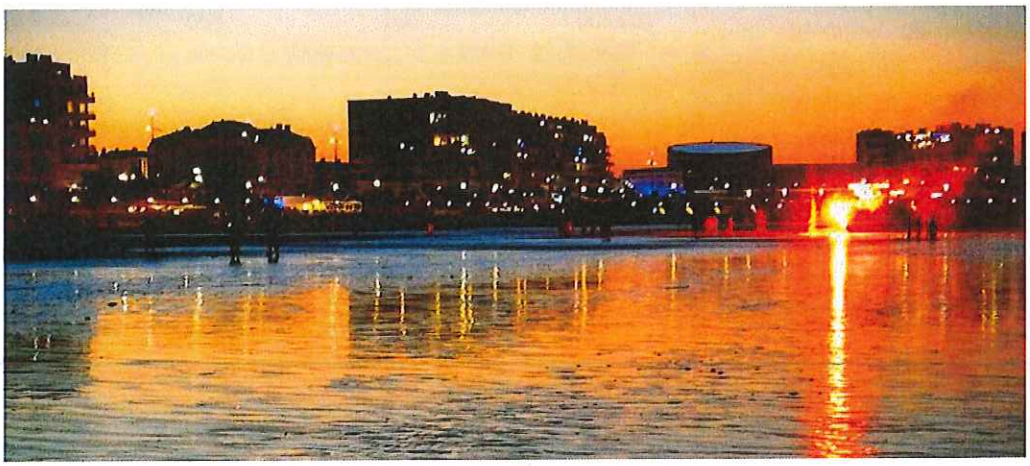
Cerema

AUBE
Aménagement, urbanisme, biodiversité, éclairage

Choisir une source d'éclairage en considérant l'impact de son spectre lumineux sur la biodiversité

La série de fiches « AUBE » incite à concevoir l'éclairage différemment, par l'intégration conjointe des enjeux de biodiversité, d'usage et d'économie d'énergie. Elle décrypte aussi l'arrêté ministériel du 27 décembre 2018 portant sur les nuisances lumineuses afin de vous aider dans sa mise en œuvre.

Elle s'adresse aux élus et techniciens des collectivités territoriales, gestionnaires, aménageurs et bureaux d'études des domaines de l'éclairage et de l'écologie, et aux gestionnaires d'espaces naturels.



Les formes que peuvent prendre la lumière artificielle sont aussi diverses que les perceptions de celle-ci par les espèces...

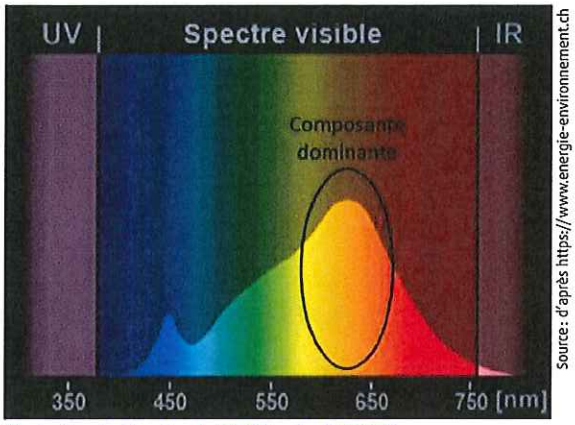
La lumière se décompose en une multitude de longueurs d'ondes, comme le révèle un arc-en-ciel en séparant les longueurs d'ondes de la lumière du jour. Or les longueurs d'ondes ont un impact plus ou moins important sur la biodiversité en fonction des espèces. Les technologies de source présentent des types de rayonnement lumineux variés. Pour diminuer l'impact de l'éclairage sur la biodiversité, il faut notamment considérer la décomposition de leurs rayonnements en longueurs d'ondes. Ainsi, le sujet central de la présente fiche est celui de l'impact du spectre lumineux sur la biodiversité, notamment sur la biodiversité animale. Les végétaux également sont sensibles à l'éclairage artificiel, qui sous certaines conditions, active la photosynthèse, phénomène habituellement diurne.

Fiche n° 03 - Septembre 2020

Collection | **Connaissances**

Rappels sur lumière, spectre d'émission et couleur perçue

La lumière est caractérisée par un spectre d'émission, perçu comme une « couleur » résultante d'une somme d'émissions énergétiques à différentes longueurs d'onde (mesurées en nanomètres - nm), et fortement influencée par sa composante dominante. Le spectre d'émission se représente sous la forme d'une distribution spectrale correspondant à la quantité d'énergie émise à chaque longueur d'onde par la source lumineuse (illustration 1).



Source : d'après https://www.energie-environnement.ch

Illustration 1 - Spectre de LED blanche (2 700 K)

Les longueurs d'ondes visibles par l'homme se situent entre 380 nm (le violet) et 780 nm (le rouge) (illustration 2), on parle du spectre visible.

Illustration 2 - Domaines de spectre visible et couleurs perçues (vision humaine)
Source : Matthieu Iodice/Cerema

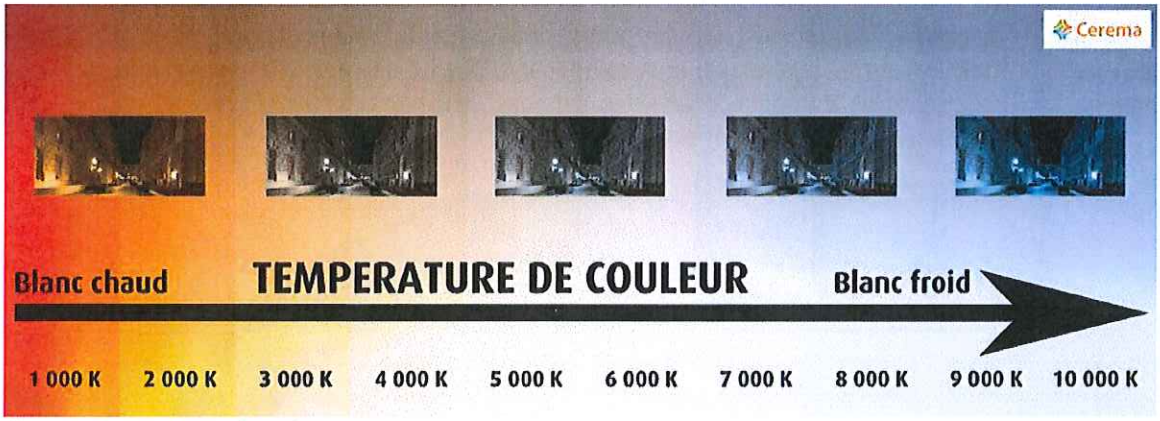
Certaines espèces animales et végétales sont également sensibles à l'ultraviolet (UV) (dont de nombreux invertébrés, certains oiseaux, reptiles, amphibiens, poissons et mammifères) et/ou à l'infrarouge (IR) (les végétaux, certains serpents notamment) émis par les sources lumineuses. Une lumière est perçue « blanche » lorsque sa distribution spectrale se compose d'émissions à des longueurs d'ondes réparties sur l'ensemble du spectre visible.

En fonction d'une émission plus importante dans les courtes (domaine du violet/bleu) ou les grandes longueurs d'ondes (domaine du rouge), le ressenti de la lumière blanche est d'aspect froid (bleuté) ou chaud (orangé) : cette notion est caractérisée par la température de couleur (mesurée en Kelvin, illustration 3).

L'Indice de Rendu des Couleurs (IRC) permet quant à lui de caractériser la capacité de l'éclairage à restituer les couleurs de l'élément éclairé fidèlement par rapport à l'éclairage en lumière naturelle. Plus l'IRC est élevé, plus les couleurs sont fidèlement restituées (valeurs de 0 à 100).

En effet, choisir des sources lumineuses dont le spectre est restreint dans les courtes longueurs d'ondes implique que les éléments éclairés par ces sources n'aient pas le même rendu visuel que lorsque ceux-ci sont éclairés par la lumière naturelle. Ainsi, une modification de l'impression visuelle colorée peut alors se ressentir. À l'extrême, un objet éclairé en lumière ambrée est vu en nuances d'ambré.

Lorsque l'on choisit une source, il est intéressant de prendre en compte ce facteur de rendu visuel dans la discussion sur l'acceptabilité des nouveaux éclairages installés.



Source : Florian Greffier/Cerema

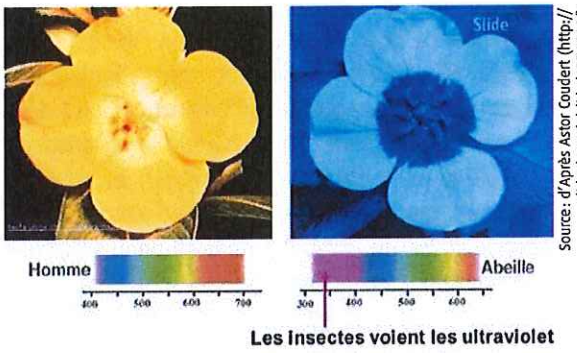
Illustration 3 - Température de couleur

Impact du spectre sur la biodiversité

Lorsque l'on aborde le sujet de la pollution lumineuse sur la biodiversité, il est indispensable de sortir de notre perception anthropocentrée de la lumière pour raisonner en termes de spectre d'émission, car la lumière n'est pas perçue de façon identique par l'humain ou par d'autres espèces (illustration 4). Par exemple, même une LED perçue avec une température de couleur chaude (2 700 K) par l'humain peut avoir des émissions dans le bleu et dans le vert, impactantes pour des espèces sensibles à ces bandes spectrales (illustration 1).

Le rapport AUBE produit en 2018 par le Cerema propose, sur la base de l'étude bibliographique réalisée[1], un tableau des bandes spectrales[2] à éviter par taxons (illustration 5). Les études sur le sujet sont encore peu nombreuses. La bibliographie existante est très insuffisante pour connaître de manière précise les impacts de la lumière sur la biodiversité.

Ce tableau, bien qu'intéressant demeure incomplet. Sa lecture doit être faite en sachant que les impacts ne sont pas définis, ils peuvent ne pas être de même nature et avoir des conséquences très différentes en fonction du groupe ou de l'espèce considérés.



Source : d'Après Astor Coudert (http://slideplayer.fr/slide/1321646/)

Illustration 4 - Illustration de la vision d'une abeille

Le tableau montre d'une part qu'il n'existe aucune longueur d'onde qui ne présente aucun impact sur au moins l'un ou l'autre compartiment du monde vivant : plus le spectre d'une lampe est large, plus elle est susceptible d'être impactante. Ce constat permet de rappeler que la première question à se poser dans un projet d'éclairage neuf ou en rénovation est :

« Est-il indispensable d'éclairer ? »

	UV (<400 nm)	Violet (400-420 nm)	Bleu (420-500 nm)	Vert (500-575 nm)	Jaune (575-585 nm)	Orange (585-605 nm)	Rouge (605-700 nm)	IR (>700 nm)
Chiroptères	X	X	X	X	O	?	O	?
Mammifères terrestres	?	?	X	?	?	?	?	?
Mammifères marins	?	?	?	?	?	?	?	?
Oiseaux	X	?	X	X	?	X	X	?
Tortues marines	?	X	X	X	?	?	O	?
Autres reptiles	?	?	?	?	?	?	?	?
Amphibiens	?	X	X	X	X	X	O X (effet réduit pour certaines espèces)	?
Insectes	X	?	X	?	?	?	?	O
Coraux/Invertébrés aquatiques	?	?	X	X	?	?	O	?
Poissons	X (poissons de profondeur)	?	X (poissons de profondeur)	X (poissons de profondeur)	X (poissons de surface)	?	X (poissons de surface)	?
Plantes chlorophyliennes	X	?	X	X	?	?	X	X

Source : rapport d'étude AUBE – étude bibliographique, Cerema, 2018

Illustration 5 - Bandes spectrales et leurs impacts par taxon
Légende du tableau : (X : effet constaté ; O : pas ou peu d'effet identifié ; ? : pas d'information).

1 Étude bibliographique s'appuyant notamment sur une synthèse de Musters et al. (résumée dans l'article de R. Sordello 2017).

2 Partie du spectre visible correspondant à un ensemble délimité de longueurs d'ondes.

Ce tableau confirme d'autre part que les courtes longueurs d'onde (les UV, le violet, le bleu et dans une moindre mesure le vert) impactent de nombreux taxons. Mentionnons un impact sur l'humain des émissions dans les courtes longueurs d'onde : les études montrent qu'une exposition à des éclairages à dominante bleue bloque la production de mélatonine (hormone du sommeil) et retarde le cycle du sommeil en perturbant le rythme biologique veille/sommeil. Ainsi, l'exposition aux écrans est déconseillée avant l'endormissement. Les conséquences chez les animaux seraient du même type en modifiant le cycle jour/nuit. D'autres impacts de l'éclairage sur la biodiversité sont détaillés dans la fiche n° 01 Adapter l'éclairage aux enjeux de biodiversité du territoire.

Toute lampe émettant dans les courtes longueurs d'onde est donc à éviter dans ou à proximité des zones à enjeux de biodiversité.

Le tableau indique enfin que les longueurs d'onde correspondant au rouge impactent a priori un moins grand nombre de taxons. Il y a moins d'effets des longueurs d'ondes correspondant au jaune-orange identifiés sur les chiroptères (chauves-souris) mais les informations sont insuffisantes pour conclure sur l'ensemble des taxons.

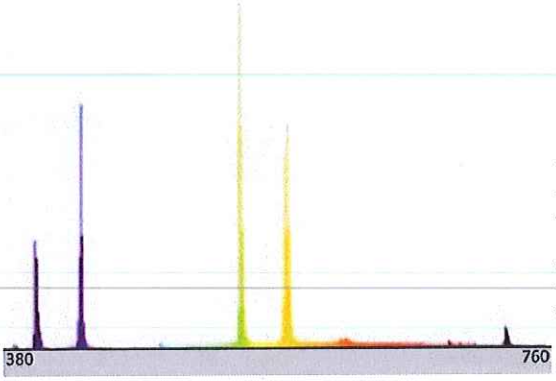
Ainsi, il faut considérer le spectre d'émission des différents types de sources lumineuses en vue de sélectionner le type de source a priori le moins impactant sur la biodiversité (émission limitée dans les courtes longueurs d'ondes).

Technologies de lampes utilisées en éclairage extérieur en regard des enjeux de biodiversité

Les lampes « Vapeur de Mercure » (VM)

Très faible efficacité lumineuse[3] (40 à 60 lm/W, à remplacer en priorité).

- Cette technologie est présente en majorité dans les luminaires « boules » et dans certains vieux lampadaires obsolètes.
- Connue par les communes sous le nom de « ballon fluo »
- Commercialisation arrêtée en 2015 en application d'une Directive européenne (règlement n°245/2009 de la commission – 18/03/2009) en raison de leur efficacité lumineuse.
- IRC = 40-60



Source : d'après Researchgate.net

Illustration 6 - Spectre de lampe à vapeur de mercure

Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Ces lampes présentent des pics d'émissions notamment dans le bleu, le violet, et l'ultraviolet, et sont de fait fortement impactantes sur la biodiversité.

Préconisations

Technologie de lampe à proscrire et à remplacer en priorité.

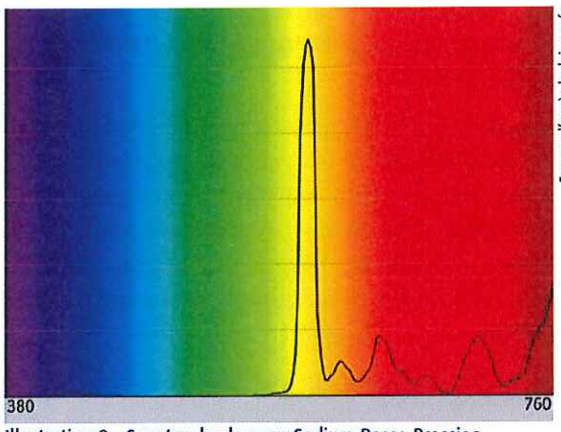
Source : Cerema

Illustration 7 - Lampe à vapeur de mercure (type "boule")

3 L'efficacité lumineuse renseigne sur la puissance nécessaire à une lampe pour produire une certaine quantité de lumière (elle se mesure en lumen/watt). Les valeurs d'efficacité lumineuse peuvent varier de 40 lm/W (lampes à vapeur de mercure) à 150 lm/W (lampes sodium ou LED)

Les lampes Sodium Basse Pression (SBP)

- Lampe « quasi-monochromatique » (longueur d'onde = 580 nm) créant une ambiance orangée (calcul de l'IRC non pertinent, car rayonnement coloré).
- Lampe cependant très intéressante en termes d'efficacité lumineuse (130 à 150 lm/W).
- La grande dimension de ces lampes et par conséquent des luminaires les intégrant génère par contre de fortes déperditions de flux lumineux, source de pollution lumineuse.
- Cette technologie est en train de disparaître du paysage nocturne urbain français en raison de sa couleur, leur commercialisation ne concernant aujourd'hui que le remplacement des lampes existantes (maintenance), notamment dans les tunnels.



Source : d'après leclairage.fr

Illustration 8 - Spectre des lampes Sodium Basse Pression

Source : Romain Sordello

Illustration 9 - Rendu orange des lampes au Sodium Basse Pression

Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Cette technologie peut être considérée comme la moins impactante vis-à-vis de la biodiversité animale, de par son émission monochromatique, et à une longueur d'onde pour laquelle on constate à ce jour le moins d'impact (voir illustration 5).

C'est également la source préférée des astronomes qui filtrent facilement cette raie unique (absence d'UV et de contenu en courtes longueurs d'ondes, d'infrarouge, etc.). Elle ne représente cependant pas une solution crédible pour les motifs exposés ci-dessus.

Préconisations

Technologie apportant une bonne réponse face aux enjeux de biodiversité.

Utilisation possible de cette technologie dans les zones le nécessitant en étant vigilant sur la dispersion des flux lumineux (adaptation des conditions d'utilisation).

Toutefois, l'avenir commercial de cette technologie est aujourd'hui compromis face à son désintérêt en raison de l'aspect orangé de la lumière produite.

Les lampes Sodium Haute Pression (SHP)

- Spectre à forte dominante spectrale jaune/orange/verte, peu d'émission dans le bleu et UV ainsi que le rouge et IR.
- Technologie « à décharge » permettant une baisse de puissance de 25 % maximum (avec une perte de flux bien supérieure), ne permettant pas de fonctionnement par détection de présence.
- Lampes les plus courantes en éclairage public à l'heure actuelle (2/3 du parc d'éclairage) en raison d'une efficacité énergétique élevée (70 à 150 lm/W) et d'un coût réduit.
- Fréquentes en éclairage urbain (rues), routier et industriel.
- IRC = 30-50

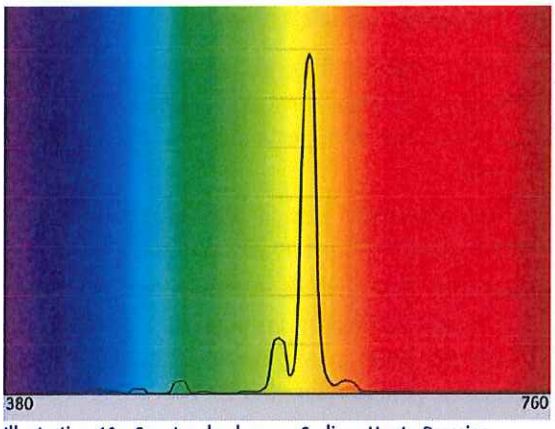
Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Les lampes SHP ont un spectre d'émission centré sur la zone du jaune/orange peu impactante pour la biodiversité a priori.

Le spectre de ces lampes est néanmoins plus large que celui des SBP et elles sont donc de fait impactantes pour un plus grand nombre d'espèces. Cette technologie reste en tout cas préférable aux lampes iodures métalliques, vapeur de mercure ou LED blanches concernant les impacts sur la biodiversité animale.

Préconisations

Lampe offrant un bon compromis en termes d'efficacité lumineuse et constitue globalement une réponse moins impactante pour la biodiversité que les lampes VM, IM et LED « standard ».



Source : d'après ledlairage.fr

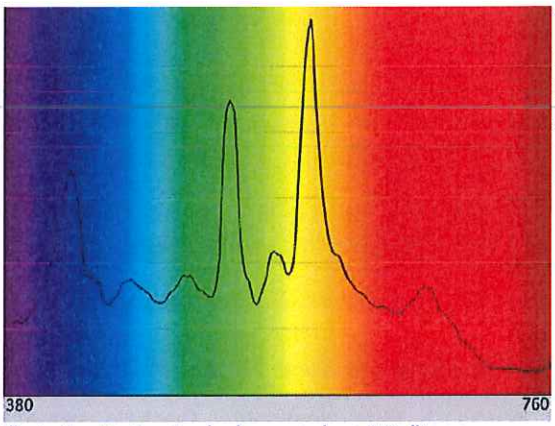
Illustration 10 - Spectre des lampes Sodium Haute Pression

Source : Cerema

Illustration 11 - Rendu orange des lampes au Sodium Haute Pression

Les lampes Iodures Métalliques (IM)

- Lumière « blanche » avec un spectre à forte dominante verte et jaune et à un degré moindre bleue utilisée dans les mises en lumière patrimoniales et pour les installations sportives (stades, boulodromes) et parfois sur les installations industrielles et commerciales.
- Efficacité lumineuse de 80 à 100 lm/W.
- Émission dans les domaines ultraviolet et infrarouge.
- Technologie « à décharge » permettant une baisse de puissance de 25 % maximum (avec une perte de flux bien supérieure). De plus, la gradation entraîne une détérioration de la couleur émise.
- Avenir commercial compromis du fait du développement des LED.
- IRC = 60-90



Source : d'après ledlairage.fr

Illustration 12 - Spectre des lampes Iodures Métalliques

Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Lampe dont les longueurs d'ondes (notamment courtes) possèdent une capacité d'attraction sur les oiseaux marins, insectes et, indirectement par la présence des insectes, sur les chiroptères.

Cette technologie contribue parfois fortement à la pollution lumineuse, dans le cas d'inclinaison importante des projecteurs équipés de lampes IM à forte puissance, sur les stades, les infrastructures industrielles, etc.

Source : Cerema

Illustration 13 - Rendu des lampes aux iodures métalliques

Préconisations

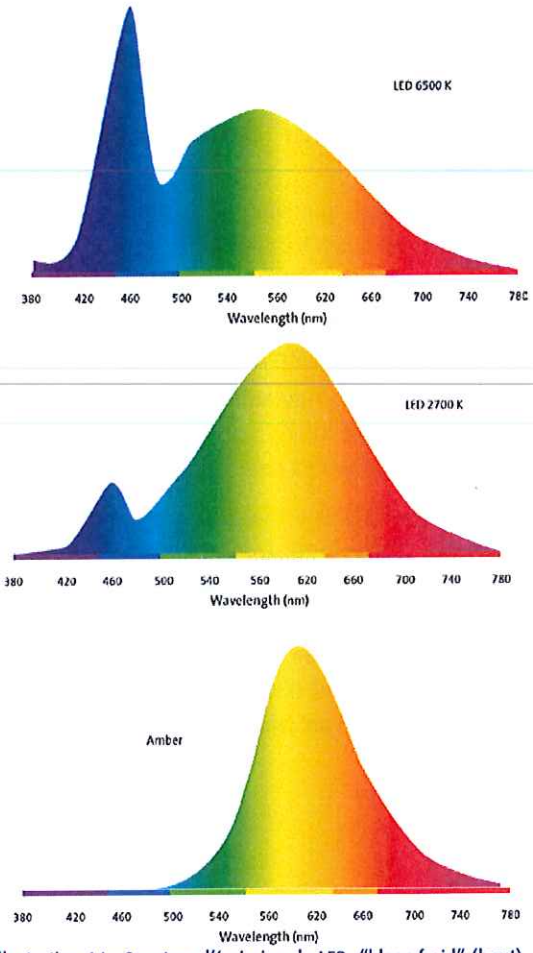
Lampe commercialement supplantée par la LED mais qui constitue une opportunité d'utilisation restant à étudier sur les installations à très forte puissance (> 1 kW) ou dans le cas où il est nécessaire d'avoir un bon rendu des couleurs et maintenir une lumière « blanche » tout en voulant limiter le rayonnement dans les courtes longueurs d'ondes (« bleu ») par rapport à certains types de LED (voir ci-dessous).

Les LED

La LED est une rupture technologique (composants électroniques) par rapport aux autres lampes « à décharge » (mélange gazeux permettant une production de lumière). Ses avantages principaux sont :

- des fortes performances lumineuses et d'importants gains énergétiques,
- une augmentation annoncée de la durée de vie,
- une meilleure maîtrise des flux permettant d'éviter un éclairage en direction du ciel, d'où une réduction du halo lumineux,
- une efficacité élevée du même ordre de grandeur que la SHP (150 lm/W),
- une modulation de puissance proportionnelle au flux lumineux (de 0 à 100 %),
- un fonctionnement possible par détection (on/off) contrairement aux lampes à décharge qui nécessitent un temps d'allumage de 10/15 minutes,
- une capacité accrue de déploiement des systèmes de télégestion et d'éclairage « intelligent »,
- IRC = 70-95.

En fonction de la composition de leur rayonnement dans les courtes ou grandes longueurs d'ondes (proportions maîtrisées), les LED peuvent émettre une lumière dont le ressenti est plus ou moins chaud (variation de la température de couleur cf. illustration 14).



Source : www.fagerhult.com

Illustration 14 - Spectres d'émission de LED "blanc froid" (haut), de LED "blanc chaud" (milieu) et de LED ambrée (bas)

Ainsi, il est possible de choisir précisément la température de couleur désirée, sachant qu'une température de couleur basse est assimilée à une faible prépondérance de rayonnement dans les courtes longueurs d'ondes (et donc à un plus faible impact sur la biodiversité).

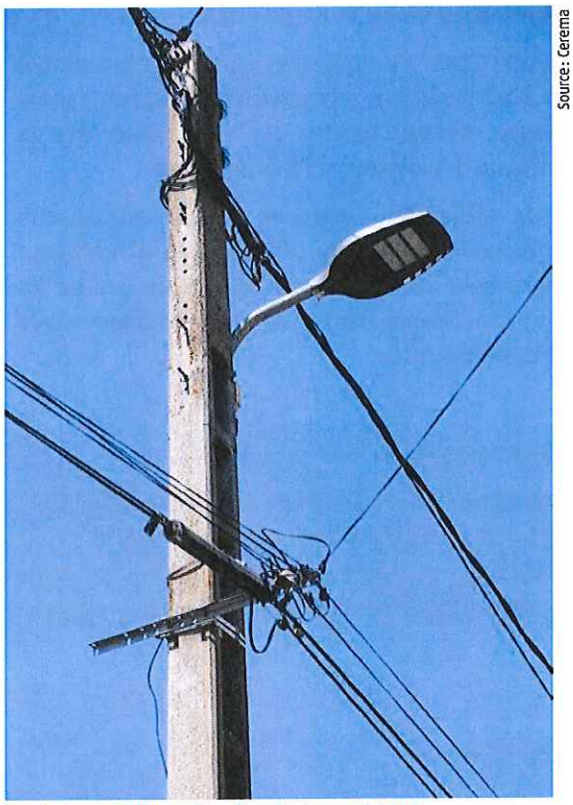
À l'extrême, un rayonnement ne contenant aucune courte longueur d'onde sera perçu comme orangé (absence de pic dans le bleu). Des solutions LED correspondant à ce type de rayonnement commencent à être commercialisées sous l'appellation de LED «ambrée» (il ne s'agit alors pas d'une LED blanche à faible température de couleur mais d'une LED de couleur). La distribution spectrale d'une telle LED présente un pic plus ou moins « resserré » autour de 600 nm (proche de la lampe SBP, voir illustration 8) et une température de couleur comprise environ entre 1500 et 2000 K. L'IRC n'est pas à calculer pour ce type de rayonnement coloré.

La LED « ambrée » présente toutefois une diminution de l'efficacité lumineuse pouvant être significative par rapport à celle d'une LED « standard » (entre -30 % et -70 %).

La technologie LED présente cependant quelques inconvénients :

- protection à prévoir contre les surtensions (foudre) ;
- fonctionnement pouvant être altéré sur des réseaux électriques très anciens ;
- de fortes luminances pouvant générer de l'éblouissement (du fait d'intensités lumineuses très élevées émises sur une très petite surface) ;
- des effets de modulation temporelle de la lumière (papillotement ou « flicker ») pouvant entraîner un inconfort pour certaines sources.

Précisons que la LED « blanche » peut impacter le rythme biologique humain (effets sur la production de mélatonine et donc sur le sommeil, etc.) en raison de son pic d'émission dans le bleu. Par contre, aucun risque d'un impact nocif sur le système visuel n'est présent en condition classique d'utilisation (rapport ANSES[4]).



Source : Cerema

Illustration 15 - Illustration d'un équipement à LED

Source : Cerema

Illustration 16 - Illustration d'un équipement à LED

4 À noter, des précautions sont tout de même à considérer pour les enfants dont l'oeil continue de se développer pendant environ six ans.

Enjeu vis-à-vis de la biodiversité

Les LED émettent sur l'ensemble du spectre visible, or plus le spectre est étroit, moins l'impact sur la biodiversité est important. De plus, à l'exception de certaines LED dites « ambrées », l'émission des LED dans les "courtes longueurs d'ondes" (dans le domaine du bleu) est très prégnante. Attention, certaines LED dites « ambrées » émettent tout de même dans les courtes longueurs d'ondes.

Cette émission dans les courtes longueurs d'ondes est fortement impactante pour de nombreux taxons, notamment les insectes et papillons nocturnes (attraction). Localement, les oiseaux marins y sont aussi sensibles. Cette lumière affecterait également les jeunes tortues lorsqu'elles cherchent à rejoindre le milieu marin à la naissance.

Le rayonnement dans les courtes longueurs d'ondes accroît la contribution de ces sources au halo lumineux[5].

Source : Cerema

Illustration 17 - Illustration d'un équipement à LED

Préconisations

L'arrêté de décembre 2018 implique la mise en place d'équipements dont la température de couleur n'excède pas 3 000 K (sauf pour certains types d'installations, voir la fiche n° 04 Comprendre l'arrêté ministériel du 27 décembre 2018 relatif aux nuisances lumineuses). Il convient de s'y référer pour choisir la température de couleur du luminaire LED installé.

Dans les zones à enjeux de biodiversité, il est recommandé de privilégier des LED ambrées à spectre étroit (sans émission dans le bleu). Cela se fera cependant au détriment de l'efficacité lumineuse (de -30 % à -70 % environ).

Point réglementaire

La réglementation prescrit une émission à une température de couleur inférieure ou égale à 3 000 K pour certains types d'installations d'éclairage (voir la fiche n° 04 Comprendre l'arrêté ministériel du 27 décembre 2018 relatif aux nuisances lumineuses). Cette valeur maximale est abaissée à 2 700 ou 2 400 K pour certains sites à enjeux de biodiversité et de qualité de ciel nocturne. Plus la température de couleur est basse, moins l'impact sur la biodiversité est important. En effet, une température de couleur basse ne peut être obtenue qu'en réduisant fortement la composante en courtes longueurs d'ondes du rayonnement. Certaines sources LED et Sodium Basse et Haute Pression ont des températures de couleur pouvant correspondre à ces seuils.

5 Le bleu (courtes longueurs d'ondes du spectre de la LED) est diffusé par les petites particules de l'atmosphère (gaz), d'où une diffusion par temps clair. Le rouge (grandes longueurs d'ondes) se diffuse plus par mauvais temps car il est propagé par les particules d'eau présentes dans l'atmosphère.

Technologies à retenir

Les technologies qui apparaissent, dans l'état actuel des connaissances et des technologies disponibles, comme les plus appropriées pour un usage en zones à enjeux de biodiversité, sont les suivantes :

- la LED ambrée à spectre étroit (en opposition à LED ambrée à large spectre). Ce choix est fait en conscience d'une efficacité énergétique et d'un rendu des couleurs moins bons que ceux d'une LED blanche « standard ». L'impact sur la biodiversité de cette technologie étant peu étudié à ce jour, une confirmation expérimentale est nécessaire.
- le Sodium Basse Pression (SBP). Il est identifié dans la littérature scientifique comme la moins impactante des solutions d'éclairage existantes, même s'il est caractérisé par une mauvaise maîtrise des flux lumineux et un mauvais rendu des couleurs. La limite réside dans l'arrêt progressif de sa commercialisation en France.
- le Sodium Haute Pression (SHP), malgré son spectre plus étendu et ses rayonnements limités mais existants dans le bleu/vert.

Les préconisations ci-avant, doivent être débattues avec les acteurs locaux concernés. Il est en effet nécessaire de concilier les enjeux du territoire et de réfléchir en amont à l'acceptabilité sociale des mesures à mettre en œuvre, souvent gage de réussite d'un projet (par exemple en considérant l'IRC).

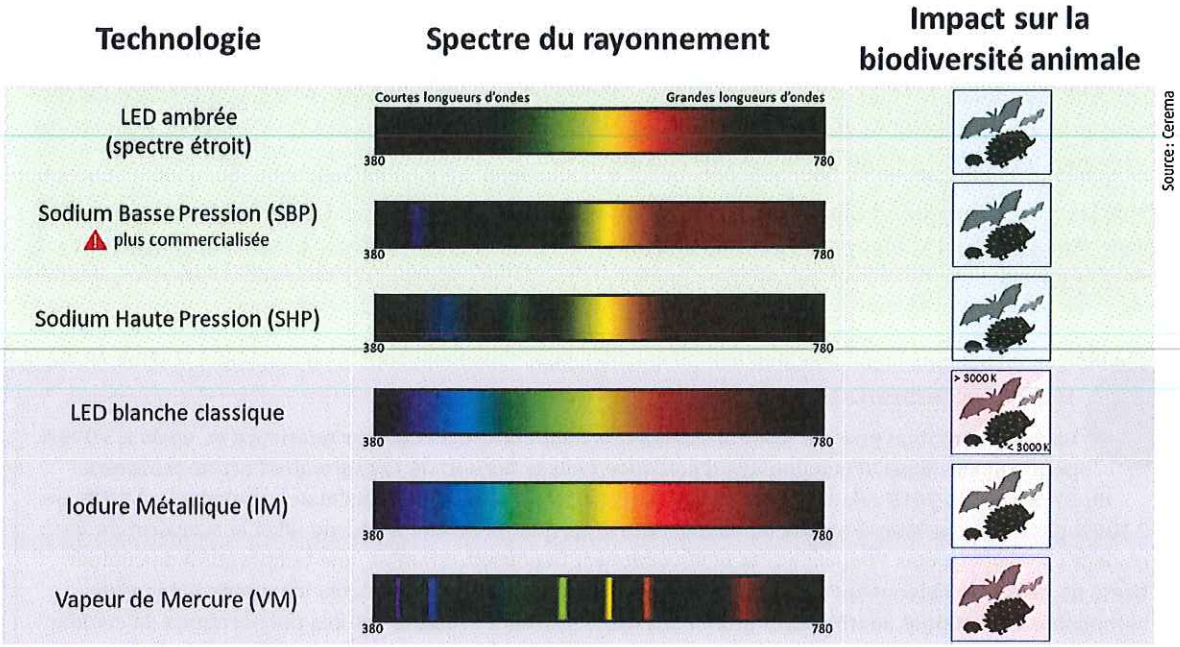


Illustration 18 - Tableau de synthèse des différentes sources lumineuses

À retenir

Tout éclairage artificiel est susceptible d'impacter la biodiversité, puisqu'il perturbe le cycle naturel jour/nuit. Pour autant, au-delà de la configuration de l'éclairage, certaines technologies sont plus impactantes que d'autres.

Plus le spectre d'émission de la source lumineuse est large, plus elle est susceptible d'affecter un nombre important d'espèces.

Plus le spectre d'émission de la source lumineuse émet dans les courtes longueurs d'ondes, plus elle est impactante pour la biodiversité (ex : Vapeur de Mercure, Iodures Métalliques, LED standard).

Il semblerait donc que les technologies les moins impactantes soient les suivantes : LED ambrée à spectre étroit (sous réserve d'étude scientifique confirmant cette hypothèse), Sodium Basse Pression (en fin de commercialisation) et dans une moindre mesure Sodium Haute Pression.

Source : Cerema

Source : Cerema

Illustration 19 - Le rendu visuel de l'environnement sera neutre ou ambré en fonction de la source lumineuse choisie

Textes réglementaires

- **Règlement (CE) N° 245/2009 de la commission du 18 mars 2019** mettant en œuvre la directive 2005/32/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les exigences en matière d'écoconception applicables aux lampes fluorescentes sans ballast intégré, aux lampes à décharge à haute intensité, ainsi qu'aux ballasts et aux luminaires qui peuvent faire fonctionner ces lampes, et abrogeant la directive 2000/55/CE du Parlement européen et du Conseil.
- **Arrêté du 27 décembre 2018** relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses.
- **NF EN 62471** : Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes.IEC, 2008.

Pour aller plus loin

- *Effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des diodes électroluminescentes (LED)*, ANSES, 2019.
- Étude AUBE (Aménagement Urbain Biodiversité et Eclairage), île de La Réunion. Aix-en-Provence, Cerema, 2018.
- Couillet, R., Lattuca, C., Anne, C., Bouteveille, A., and Vilmain, S. *Éclairage des espaces extérieurs: projet, installation, maintenance, coût*, 2019.
- Sordello, R., *Longueurs d'ondes lumineuses impactantes pour la biodiversité. Exploitation des résultats de Musters et al. 2009*, UMS Patrinat, 2017.

Série de fiches « AUBE »

Fiche chapeau	Intégrer la biodiversité dans la planification et la maintenance de l'éclairage
Fiche n° 01	Adapter l'éclairage aux enjeux de biodiversité du territoire
Fiche n° 02	Intégrer les enjeux de biodiversité nocturne dans la planification et les outils opérationnels
Fiche n° 03	**Choisir une source d'éclairage en considérant l'impact de son spectre lumineux sur la biodiversité**
Fiche n° 04	Comprendre l'arrêté ministériel du 27 décembre 2018 relatif aux nuisances lumineuses
Fiche n° 05	Normes, réglementations et recommandations en éclairage public (à paraître)
Fiche n° 06	Concevoir et gérer une installation d'éclairage pour limiter la pollution lumineuse (à paraître)
Fiche n° 07	Moduler l'éclairage artificiel : acceptabilité sociale et responsabilités de chacun (à paraître)
Fiche n° 08	Financer un projet d'éclairage intégrant biodiversité et sobriété énergétique (à paraître)

Contributeurs

Rédacteurs : Jean-François Bretaud, Matthieu Iodice, Paul Verny et Samuel Busson (Cerema).

Relecteurs : Romain Sordello (UMS Patrinat), Hélène Foglar (Athena-Lum), Clarisse Paillard (Nantes Métropole), Céline Villa (Université Gustave Eiffel), Pauline Chevalier (Métropole Nice Côte d'Azur).

Contact

biodiversite.eclairage@cerema.fr

Maquettage
Cerema Territoires et ville
Service édition

Impression
Jouve-Print
Mayenne

Photos de couverture
Vue sur le front de mer des Sables d'Olonne
Cerema/Jean-François Bretaud

Date de publication
Septembre 2020
ISSN : 2417-9701
2020/26

Commander ou télécharger nos ouvrages sur
www.cerema.fr

© 2020 - Cerema
La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable du Cerema.

La collection « Connaissances » du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - www.cerema.fr
Cerema Territoires et ville - 2 rue Antoine Charial - 69426 LYON cedex 03 - Tél. +33 (0)4 72 74 58 00
Siège social : Cité des mobilités - 25 av. François Mitterrand - CS 92803 - 69674 BRON Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30