

## Remerciements et impressum

- > A **Pierre-Maurice Barras** (Sierre Energie) et à **Jérôme Luyet** (Energie Sion Région), responsables de l'éclairage, pour leurs précieuses informations sur les réalités sociales et techniques de l'éclairage public.
- > A **Marc Torti** de Schröder Swiss, pour ces informations sur les LED et leur développement.
- > A **Arnaud Zufferey**, collaborateur scientifique, Service de l'énergie et des forces hydrauliques, pour les échanges d'expérience.

Auteur: **Antoine Sierro**

Conception graphique: **atelier ETCO** | Paloma Garcia Magliocco

Impression: **Ronquoz Graphix**; imprimé en Valais

Financement: **Service des forêts, des cours d'eau et du paysage**, Sion

Date: Janvier **2019**

Il existe une version allemande de cette brochure

# La lumière nuit!

## LA NATURE FACE À LA POLLUTION LUMINEUSE



## Table des matières

5	Avant-propos	28	sur les chauves-souris
<b>7</b>	<b>1 Définition et bases légales</b>	32	sur les oiseaux
8	Définition	36	sur les mammifères
8	Le halo	38	sur l'être humain
10	Explications	40	sur la chaîne alimentaire
12	Historique	41	en résumé
13	Bases légales	<b>43</b>	<b>3 Solutions pratiques</b>
14	Type de lampes et leur propriétés	44	Repenser l'éclairage public
<b>17</b>	<b>2 Les effets</b>	46	Recommandations pour l'éclairage public
18	sur la flore	48	Recommandations pour la faune
20	sur les batraciens et les reptiles	50	L'avenir: les LED, oui mais...
22	sur les arthropodes	<b>52</b>	<b>Selection de références</b>

## AVANT PROPOS

Sur notre planète, la lumière varie selon les saisons et l'alternance du jour et de la nuit, de même que selon les phases de la lune. Cette situation a contraint les organismes à développer des stratégies pour s'adapter. La lumière a ainsi façonné l'organisation de la vie sur terre tant au niveau de l'écosystème, des organismes que des molécules. Depuis 150 ans, la lumière artificielle a été introduite dans des lieux où elle n'avait jamais existé. Son spectre est différent de celui émis par les sources naturelles de lumière : le soleil, la lune ou les étoiles. Contrairement aux variations climatiques, **l'apparition de la lumière artificielle s'avère sans précédent pour les organismes et leur environnement**. L'éclairage artificiel a toutefois largement profité à l'être humain (sécurité, confort, loisir), mais sans en mesurer les conséquences. L'éclairage public est aussi un symbole de modernité ; on l'a parfois installé pour utiliser le surplus d'énergie nucléaire produit pendant la nuit.





---

# La pollution lumineuse

DÉFINITION ET BASES LÉGALES

## La pollution lumineuse

### DÉFINITION

La pollution lumineuse est l'anormale et gênante présence nocturne de l'éclairage artificiel avec ses conséquences sur la faune, la flore, les écosystèmes ainsi que sur la santé humaine. Ce sont les astronomes qui, déjà dans les années 1980, ont tiré la sonnette d'alarme quant à l'augmentation de l'éclairage artificiel qui empêchait l'observation du ciel. La pollution lumineuse « astronomique », qui obscurcit la vue du ciel, se distingue de la pollution lumineuse « écologique » qui **modifie le comportement des espèces dans l'écosystème**.

### LE HALO

La lumière directe se réfléchit contre les nuages, les aérosols et les particules en suspension pour former un **halo lumineux qui se propage loin à la ronde**. Ce halo possède une lumière pâle et homogène comparée à la lumière des éclairages publics, mais beaucoup plus lumineuse que la lumière naturelle du ciel émise par les étoiles. C'est ce halo que nous voyons au-dessus des villes durant la nuit et qui a une influence insidieuse sur les organismes et les écosystèmes. Il n'y a plus aucun km<sup>2</sup> totalement obscur la nuit sur le Plateau Suisse depuis 1996, ni dans le Jura depuis 2008.



**60%** de la population européenne ne peut plus observer la voie lactée à l'œil nu.



**6% par an** augmentation des émissions lumineuses sur la planète.

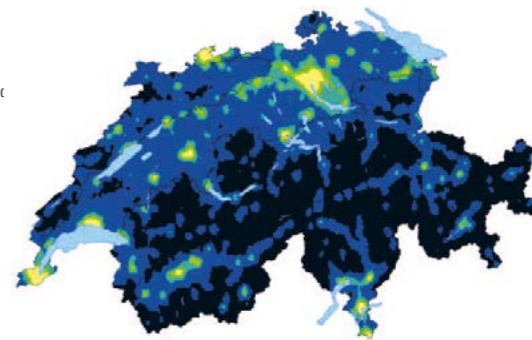


**25%** de la facture d'électricité d'une commune utilisé pour financer l'éclairage public en Valais.

## ÉVOLUTION

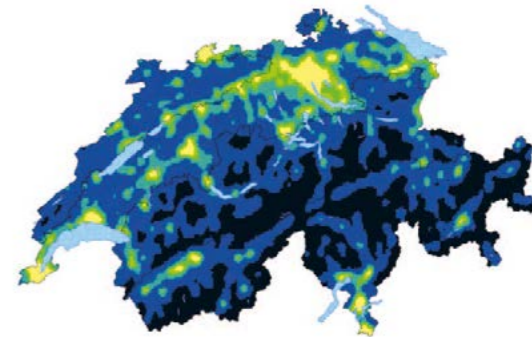
1994

Radiance [ $10^{19}$ ]  
High: 500,6  
Low: 0



2009

Radiance [ $10^{19}$ ]  
High: 500  
Low: 0



En Suisse, les **émissions lumineuses** orientées vers le haut ont **augmenté de 70% entre 1994 et 2009**. La **surface d'obscurité nocturne** a considérablement **diminué** : elle a passé de 28% du territoire suisse en 1994 à 18% en 2009 (OFEV 2015).

## La lumière artificielle

### EXPLICATIONS

La lumière artificielle est **composée de lumière visible ainsi que de lumière invisible, ultraviolets (UV) et infrarouges (IR)**. Selon les types d'ampoules développés, la composition de la lumière varie. La propagation de la lumière à distance augmente en fonction du nombre de watts dégagés par l'ampoule. Depuis l'installation des premiers candélabres vers 1870 à Paris, la lumière artificielle se glisse partout et concerne non seulement les rues, les places et les façades, mais aussi les arbres, les cascades voire des sommets. Le ciel nocturne se trouve largement illuminé et perd ses atmosphères ténébreuses contrastant avec les étoiles.

### PETITES BRÈVES

*Une simple ampoule à incandescence est visible à des dizaines de kilomètres.*

*Aujourd'hui, le rendement (= efficacité énergétique) d'une ampoule au sodium haute pression 100 W (150-180 lm/W) reste encore meilleur que celui d'une LED comparable de 27 W (120lm/W).*

*2012: premiers LED installés à Sierre (éclairage public).*

### QUELQUES TERMES

**infrarouges (IR)** rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde supérieure à la lumière visible.

**lumen (lm)** unité de mesure du flux lumineux. Quantité de lumière perçue par un être humain.

**lux (lx)** unité de mesure de l'éclairement; il mesure le flux lumineux reçu par unité de surface.

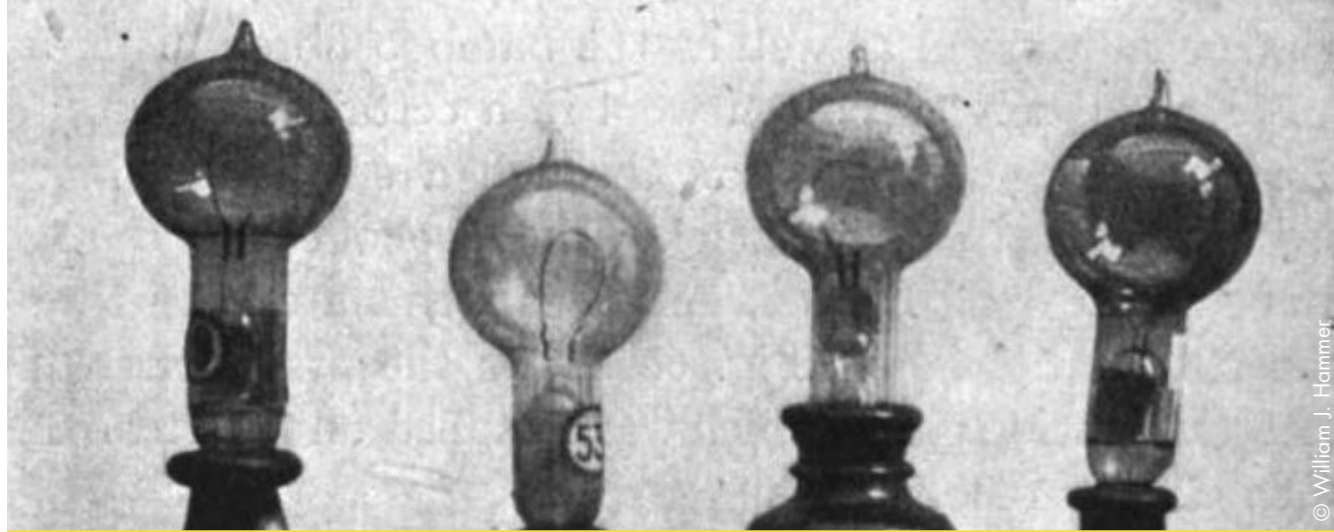
**photon** particule élémentaire de la lumière.

**ultraviolets (UV)** rayonnement électromagnétique invisible à l'œil nu, d'une longueur d'onde plus courte que la lumière visible.

**watt (W)** définit la puissance de l'ampoule (intensité lumineuse). La propagation de la lumière augmente en distance en fonction du nombre de watts dégagés.

### QUELQUES EXEMPLES DE LUX

- 0.00lx** nuit très sombre en altitude
- 0.01 lx** lumière d'un croissant de lune
- 0.15lx** lumière de la pleine lune, halo au-dessus d'une ville
- 1 lx** lumière dégagée par une bougie, clarté de l'aube ou du crépuscule
- 15lx** éclairage public mesuré au sol (route, trottoir)
- 50lx** éclairage public mesuré au sol (carrefour)
- 100lx** éclairage d'une pièce illuminée
- 100'000lx** plein soleil



© William J. Hammer

## HISTORIQUE

Les premières **ampoules à incandescence** portaient un filament de tungstène ; c'était l'**invention d'Edison en 1879**. Grosses consommatrices d'énergie, ces lampes ont été progressivement remplacées dans l'usage domestique par des lampes halogènes économiques (ou à basse consommation), puis aujourd'hui par des **LED** (Light-Emitting Diode). Les japonais I. Akasaki, H. Amano et S. Nakamura ont reçu le prix Nobel de physique en 2014 pour la mise au point des LED bleues produisant de la lumière blanche. Dans l'éclairage public, les **lampes à vapeur de mercure**, dévoreuses d'énergie, ont été progressivement remplacées

par des **lampes aux halogénures métalliques** ou des **lampes à vapeur de sodium** consommant moins d'énergie ; actuellement, ces modèles cèdent petit-à-petit leur place aux LED. Les LED n'émettent pas d'UV, mais ils sont par contre riches en lumière blanche et bleue, très attractive pour les insectes et perturbent l'être humain. Dès 2015, toutes les lampes à vapeur de mercure sont interdites à la vente dans l'Union Européenne. La Suisse s'est alignée sur cette décision.



**5-7 x moins**

d'énergie consommée par les LED que par les lampes à vapeur de mercure.



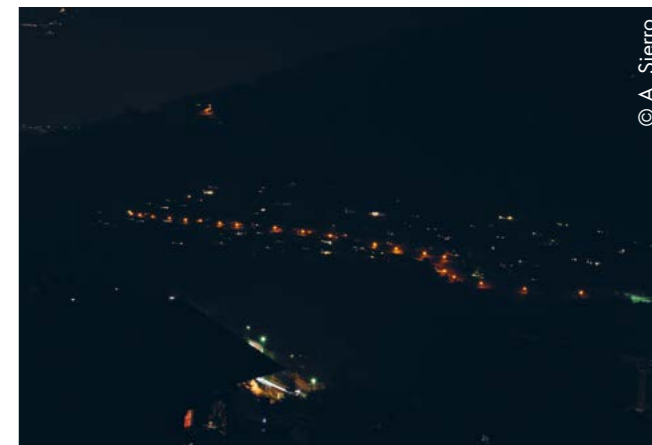
A Sierre, malgré l'augmentation du nombre de lampadaires, la consommation diminue grâce aux LED.

## BASES LÉGALES

Les communes n'ont **pas l'obligation d'éclairer l'espace public** et ne portent aucune responsabilité selon la législation suisse. Elles sont **encouragées à limiter l'éclairage**.

Ci-après, quelques références en la matière :

- > **Loi sur la protection de l'environnement**, art 11 : ...les rayons sont limités par des mesures prises à la source.
- > **Loi sur la circulation routière**, art 32 : La vitesse doit toujours être adaptée aux circonstances, notamment... aux conditions de la route, de la circulation et de la visibilité.
- > **La Norme d'éclairage public EN 13201** tient compte des types d'usagers : le nombre de véhicule par jour et leur vitesse, présence de piétons ou de cyclistes, zone de « conflits ».



© A. Sierro

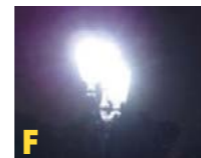
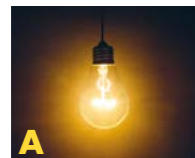
De nombreuses communes ont déjà passé au début des années 1990 à des éclairages à vapeur de sodium (couleur orangée), économes en énergie et épargnant les insectes. Ici l'éclairage discret de la zone résidentielle de Chenarlier à Troistorrents.



## Les types de lampes ET LEURS PROPRIÉTÉS

Type	Consommation	Type de lumière	Ultra-violet (UV) et lumière bleue
A Lampe à incandescence	Elevée	Blanc chaud	Peu d'UV et de lumière bleue
B Lampe halogène	Elevée	Blanc chaud	Riche en UV et peu de lumière bleue
C Lampe à vapeur de mercure	Elevée	Blanc froid	Riche en UV et en lumière bleue
D Lampe à vapeur de sodium (basse pression)	Basse	Jaune monochrome	Pas d'UV, pas de lumière bleue
<b>E</b> Lampe à vapeur de sodium (haute pression)	Moyenne	Jaune orange	Pas d'UV, pauvre en lumière bleue
F Lampe aux halogénures métalliques	Moyenne	Blanc froid	Riche en UV et en lumière bleue
G LED	Très basse	Blanc chaud ou froid	Pas d'UV, riche en lumière bleue
<b>H</b> LED « customisé »*	Très basse	Blanc chaud	Pas d'UV ni de lumière bleue

\* pas disponible sur le marché



Utilisation	Rendu des couleurs	Effet sur les espèces fuyant la lumière
Abandonnée	Excellent	Négatifs. 95% de l'énergie partaient en chaleur!
Dépassée	Excellent	Négatif
Eclairages publics, Interdites	Bon	Très négatif
Dans les tunnels	Très mauvais	Pas d'effets
Dans les carrefours routiers	Mauvais	Peu d'effets
Eclairages publics	Très bon	Très négatifs
Eclairages publics, en progression	Bon	Très négatifs
Eclairages publics futurs	Bon	Peu d'effets



**Le meilleur choix** (compromis entre qualité de lumière et environnement) :

**E** Lampe à vapeur de sodium (haute pression)

**H** LED « customisé ».





## 2

# Conséquences

SUR LA NATURE ET SUR L'HOMME

La plupart des organismes ont développé une horloge interne contrôlée par un rythme circadien (alternance jour/nuit). L'arrivée de la lumière artificielle engendre des perturbations profondes sur ces organismes adaptés à la nocturnité.

## Les effets SUR LA FLORE

La lumière du soleil est vitale pour les plantes, car elle permet la photosynthèse, processus par lequel elles fabriquent des sucres indispensables à leur croissance et à la chaîne alimentaire. Parmi les plantes on distingue les plantes de **jour court** et celles de **jour long**. Les premières ont besoin d'une dizaine d'heures de lumière chaque 24h pour accomplir leur cycle. En prolongeant la durée du jour par des lumières artificielles, on empêche la floraison et la fructification. On favorise ainsi les plantes de jour long. La lumière artificielle émise durant la nuit peut **retarder la chute des feuilles, avancer ou freiner la floraison**.

La plupart des graines ont besoin de vivre une **période d'obscurité pour germer**; exposées en permanence à la lumière, elles ne germent pas. Par conséquent, sous l'effet de la lumière artificielle, les plantes émettant des stolons et des rhizomes sont favorisées et peuvent se propager plus facilement au détriment des plantes se disséminant au moyen de graines. Ces résultats laissent imaginer l'ampleur des **perturbations** induites le long des routes éclairées, sur les cultures ou sur les talus faisant souvent office de refuge pour une flore rare et menacée, dans nos paysages urbanisés.



**88%** de toutes les plantes dépendent de la pollinisation par les animaux.



**62%** de visites d'insectes nocturnes en moins sur des cirses maraîchers éclairés artificiellement.

**13%** diminution de la production de fruits chez ces cirses maraîchers.

### EXEMPLES

La végétation soumise durant 5 ans à des éclairages publics a montré des **changements dans la biomasse produite** et la **couverture des plantes dominantes**. Toutes les graminées **fleurissaient entre 4 et 12 jours plus tard**. Ci-dessous, **localisation inappropriée** de lampadaires de **mauvais type**.



© A. Zufferey

## Les effets SUR LES BATRACIENS ET REPTILES

### BATRACIENS

L'activité des batraciens se déroule essentiellement de nuit pour éviter la dessiccation de la peau et pour échapper aux prédateurs. Leur sens de l'orientation inné leur permet de retrouver facilement leur site de reproduction. La lumière à peine perceptible limite déjà la recherche de nourriture et de partenaires pour la reproduction, ce qui peut avoir des effets négatifs sur le long terme pour la dynamique de la population et la résilience.



**0.01 lx**

suffisant pour perturber l'activité reproductrice de la salamandre américaine.

### REPTILES

Comme les batraciens, les reptiles ont évolué sous l'influence des cycles de la lumière naturelle. L'arrivée de la lumière artificielle a bouleversé le comportement et la physiologie des lézards et des tortues marines. Les reptiles vivent de jour (lézards, iguanes) ou de nuit (geckos). En attirant des insectes, la lumière facilite la chasse des geckos, mais elle concentre les individus aux mêmes endroits et augmente les querelles. Chez les lézards et les varans, la lumière artificielle prolonge la période d'activité et attire des serpents prédateurs de lézards. Certains herpétologues parlent même d'une nouvelle niche écologique liée à la lumière artificielle. L'exposition à la lumière artificielle, dégageant de la chaleur, modifie la physiologie des reptiles, notamment les interactions entre la température et les hormones.

### EXEMPLES



En laboratoire, il y a plus de larves de **Xenopus** qui se métamorphosent facilement dans des conditions d'obscurité que sous l'effet de différents éclairages artificiels (0.01 à 100 lx). Sur l'image de gauche, on voit que le têtard venant de l'obscurité se métamorphose et sur celle de droite, le têtard exposé à la lumière garde son corps de larve (d'après Wise 2007).

Durant les migrations, les **crapauds communs américains** s'agrègent sous les lampes au bord des routes où ils trouvent des insectes en masse, mais ils sont alors exposés à des accidents avec les voitures et les cyclistes.

Lors d'une expérience sur le terrain, il y avait plus de **salamandres tigrées** actives sur le sol forestier dans les transects sombres (0.0001 lx) que sur les transects éclairés artificiellement (0.01 lx); la lumière était toutefois faible, comparable à celle d'un croissant de lune.

Les **grenouilles vertes américaines** mâles limitent leur activité de chant et augmentent leurs déplacements quand leur habitat est éclairé par des lampes, avec ou sans clair de lune. Cette situation inhabituelle perturbe la sélection des meilleurs mâles dans les chœurs et augmente la dépense d'énergie pour sortir des zones éclairées.

En **Californie**, plusieurs espèces de lézards déclinent en fonction du gradient de pollution lumineuse.

Les **tortues marines** sont hyperadaptées à la vie en pleine mer. Elles se nourrissent et trouvent leur partenaire grâce à leur vue. L'eau de mer absorbe la lumière différemment que l'air. Certaines tortues sont extrêmement sensibles aux lumières bleues et vertes. Comme elles viennent pondre de nuit en se déplaçant péniblement sur les plages, elles sont perturbées par les éclairages artificiels des stations balnéaires. Ce surcroît de lumière déroute surtout des milliers de nouveau-nés, cherchant à regagner la mer, qui s'orientent dans la mauvaise direction à cause du contraste eau/terre inversé.



© P. Magliocco



© Copleys

## Les effets SUR LES ARTHROPODES

### LES INSECTES NOCTURNES

Les lampes à vapeur de mercure attirent certaines espèces depuis une distance allant de 50 à 250m, alors que des lampes plus faibles (tubes actiniques) les attirent de 10 à 30m. Au lieu de chercher de la nourriture, de s'accoupler ou de pondre, **les insectes s'épuisent** en tournant autour des lampes et deviennent des **proies faciles** pour les chauves-souris en chasse, les chats ainsi que pour les oiseaux au petit matin.



**30'000**  
nombre d'espèces  
d'insectes en Suisse.



**80%** des espèces  
animales sont des  
insectes.



**95%**  
des insectes  
nocturnes sont  
attirés par les UV et  
lumières bleues.



**150 insectes**  
tués par nuit et par  
lampadaire en été.



**10 mio** d'insectes  
tués par nuit estivale  
en Suisse.

### LES PAPILLONS DE NUIT

Une **sélection négative est exercée par les lampes** sur les mâles car ils sont plus mobiles dans la recherche des femelles et de ce fait plus fortement attirés par la lumière. De nombreuses chenilles de papillons diurnes (mégère, agreste, demi-devil, misis) ont également une activité nocturne afin d'éviter la trop forte chaleur et les prédateurs. La lumière artificielle **modifie leurs habitudes** en diminuant la durée des plages favorables pour se nourrir.



**3'668**  
nombre d'espèces de  
papillons en Suisse.



**95%**  
des papillons sont  
nocturnes.



**99%**  
des papillons attirés  
par la lumière sont  
des mâles.



## EXEMPLES



© J. Dekker

Parmi les coléoptères, le **ver luisant** (*Lampyrus noctiluca*) utilise la bioluminescence pour la reproduction. La femelle aptère produit de la lumière pour attirer les mâles volant jusqu'à une distance de 45m. Ces derniers ont de la peine à repérer les femelles dans un environnement totalement éclairé. La raréfaction de cette espèce chez nous est certes imputable à la disparition de son habitat naturel (les prairies sèches), mais certainement aussi à l'extension des éclairages artificiels.



© A. Sierro

Ce lampadaire aux halogénures métalliques à proximité de prairies fleuries n'attire plus guère d'insectes, comme s'il avait vidé les environs de sa faune nocturne. Parfois, une espèce rare comme l'**écaille pourprée** (*Rhyparia purpurata*) vient se poser sur le mur blanc (Leuk/Rotafen).



© OMNIA

Les **sphinx**, comme d'autres papillons de nuit, ont un rôle de pollinisateurs nocturnes. Les lumières artificielles modifient les couleurs des fleurs qu'ils ont l'habitude de polliniser, ce qui entraîne la diminution du taux de fécondation de certaines plantes visitées la nuit. A long terme, l'éclairage artificiel pourrait avoir pour conséquence la disparition de certaines plantes à fleurs et la modification de la composition floristique de certaines surfaces.

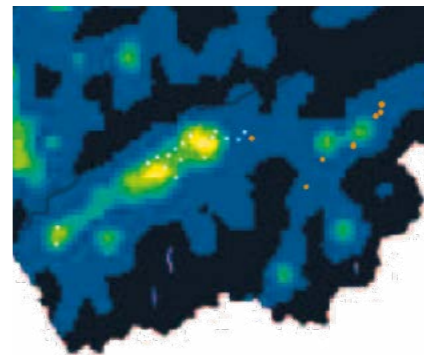
Plus des 80% des **noctuelles du chou** (*Mamestra brassicae*) soumises à de la lumière verte ou bleue avaient déjà émergé de leur chrysalide quand la première noctuelle non soumise à la lumière émergeait. Cette situation peut augmenter la mortalité des papillons et perturber l'équilibre avec leurs prédateurs.

F. Altermatt et D. Ebert ont montré que certains **ypnomeutes** (microlépidoptères) vivant en milieu urbain sont moins attirés par les lampadaires que les individus de la même espèce vivant à la campagne. Ces observations suggèrent que certains insectes ont la faculté de s'adapter à la lumière artificielle.



© A. Sierro

Le **grand paon de nuit** (*Saturnia pyri*) photo ci-contre - la plus grande espèce de papillon de nuit de Suisse, est souvent anthropophile se reproduisant sur les arbres fruitiers. Il s'avère très attiré par les lampes, car une fois posé sous un éclairage, le grand paon y reste jusqu'au petit matin, où il devient la proie facile des oiseaux, des chats et autres prédateurs.



Ci-contre, **carte des observations de grand paon de nuit en Valais de 2005 à 2015.**

- **En jaune** : zones les plus touchées par la pollution lumineuse
- **En bleu** : zones avec un faible impact de la lumière.
- **Point orange** : observations de grand paon de nuit en Valais de 2005 à 2015
- **Point blanc** : prospections avec des femelles vierges, sensées attirer des mâles, entre 2001 et 2015

L'espèce semble survivre surtout dans les régions exemptes de pollution lumineuse.

## Les effets SUR LES ARTHROPODES

### DANS LES PRAIRIES

Les prairies revêtent une importance particulière car on y trouve de nombreux arthropodes qui servent de nourriture aux oiseaux et aux petits mammifères. Dans le cadre d'une expérience, T. Davies et ses collègues ont illuminé avec des LED durant 3 ans des prairies n'ayant encore jamais reçu de lumière. Ils ont montré de profonds dérangements causés par la lumière artificielle sur les insectes et autres arthropodes terrestres (carabes, araignées). Les araignées attirées par les LED durant la nuit ne se redispersaient pas dans les prairies durant le jour ; les carabes étaient moins affectés par la lumière. Cet éclairage influençait autant les invertébrés qu'une fauche de la prairie, ce qui laisse imaginer les **perturbations quotidiennes de l'éclairage sur la petite faune** colonisant les talus de routes, souvent les derniers refuges et couloirs de migration dans nos paysages urbanisés. En diminuant de 50% la quantité de lumière produite par les LED ou bien en changeant le spectre de lumière émis, les impacts sur plusieurs

espèces d'araignées se sont avérés moins conséquents. Finalement, **une combinaison entre la réduction de 50% de lumière et l'extinction totale entre minuit et 4h00** réduisait au maximum les effets négatifs de la lumière artificielle sur les invertébrés.

### INSECTES AQUATIQUES

Les éclairages installés le long des petits cours d'eau attirent une foule d'insectes passant leur vie larvaire dans l'eau. C'est le cas des éphémères, des perles, des phryganes et des chironomes. Ces insectes sont tellement attirés par les lumières artificielles qu'ils meurent en masse, ce qui **appauvrit fortement l'offre en nourriture** pour les poissons, les oiseaux et les chauves-souris.



© A. Sierro

### EXEMPLES



© B. Scalvenzi

Malgré leur brève vie aérienne, les **éphémères** sont décimées par les éclairages installés au bord de l'eau. Les poissons sont progressivement privés d'une source de nourriture importante.

## Les effets SUR LES CHAUVES-SOURIS

### ESPÈCES LUMINOTOLÉRANTES

Les chauves-souris sont bien connues pour être attirées par les lumières et se laissent observer virevoltant autour des lampadaires. Seules certaines espèces (**pipistrelles, sérotines, noctules**) profitent de l'éclairage public pour chasser les insectes attirés par la lumière. Ces espèces communes préfèrent chasser sous les lampes aux halogénures métalliques (économiques en énergie, lumière blanche forte) plutôt que sous les lampes au sodium (lumière orange, consommant plus d'énergie), car ces dernières attirent moins d'insectes. Cependant, les lampadaires épuisent les environs en les « vidant » de leurs principaux insectes (papillons, coléoptères) en 2-3 ans ; ensuite, seules quelques espèces peu importunées par la lumière et quelques papillons erratiques sont encore observés.

### ESPÈCES LUCIFUGES

Les **rhinolophes** et les **murins** évitent la lumière. Les rangées de lampadaires au bord des routes forment, pour les espèces sensibles à la lumière, une barrière presque infranchissable. **L'effet de barrière diminue si l'espacement entre les candélabres augmente.** L'éclairage provoque ainsi un déséquilibre en favorisant localement les espèces tolérantes à la lumière, souvent plus communes, et en évinçant les intolérantes, souvent rares et menacées.



#### Conseil

Pour une distance de 30 à 50m entre les éclairages, la lumière émise par les mâts ne devrait pas dépasser 20lx.

### EXEMPLES

Au Costa Rica, une espèce de **roussette** (*Carollia sowelli*) renonce à manger les fruits du poivrier quand ils sont éclairés par des lampes au sodium (environ 4-5lx) ce qui réduit la dispersion des graines par ces mammifères. Dans les habitats tropicaux les chauves-souris sont indispensables pour disperser les graines dans les zones déforestées.

En France, une colonie de **murins à oreilles échancrées** rassemblant plus de 1000 femelles a été désertée subitement après l'installation d'un éclairage à l'entrée.



La **pipistrelle commune** (à gauche) et la **noctule commune** (à droite) sont deux espèces non menacées en Suisse et parmi les plus tolérantes à la lumière (© M. Andrea, © J. Vittier).



Les **murins de Bechstein** évitent les zones éclairées dans le canton de Genève. Ci-dessus une vue aérienne avec :

- les **points jaunes** représentent des lampadaires.
- les **disques verts** les localisations de murins à l'aide d'émetteurs.



## Les effets

### SUR LES CHAUVES-SOURIS

#### LAMPES PERTURBANT LES CHAUVES-SOURIS

Riches en lumière blanche et bleue, **les LED** ont un **effet écologique aussi négatif que les ampoules à vapeur de mercure** conventionnelles. Selon les recherches les plus récentes, menées par l'Université de Bristol et de Los Angeles, les LED **éloignent les rhinolophes et les murins**, espèces intolérantes à la lumière, et attirent les espèces supportant la lumière. Certains papillons de nuit (noctuelles, géomètres, notodontides) évitent l'attaque des chauves-souris grâce à leurs tympans qui perçoivent les ultrasons. Sous les lampadaires équipés de LED n'émettant pas d'UV, ces **papillons perdent la capacité d'éviter les chauves-souris**. Les papillons semblent « éteindre » leurs tympans car ils reconnaissent une situation de plein jour où normalement ils ne sont pas actifs. Devenus des proies faciles, ces papillons pourraient fortement se raréfier au profit d'autres espèces

plus tolérantes, mais moins profitables pour les chauves-souris (biomasse, qualité). A l'heure actuelle, les LED ne sont malheureusement pas la panacée en ce qui concerne la conservation des chauves-souris et de leurs proies. Les coûts biologiques (fitness) qu'occasionne la lumière sur les chauves-souris, notamment sur certains paramètres comme le nombre de jeunes produits, la survie, le sexe-ratio et la dispersion des individus, ne sont pour le moment pas connus.. Des **recherches supplémentaires s'avèrent nécessaires** pour démasquer les effets insidieux à long terme des émissions lumineuses.



#### Solution idéale

Modifier le spectre d'émission des longueurs d'ondes des LED pour les rendre non nuisibles.



1980

**61%** d'églises abritaient des colonies de chauves-souris en Suède en 1980.



2016

**38%** d'églises abritaient des colonies de chauves-souris en Suède en 2016.

#### EXEMPLE : LES RHINOLOPHES

Les **Grands et Petits rhinolophes** (*Rhinolophus ferrumequinum* et *hipposideros*) sont connus pour être des animaux très sensibles aux dérangements, notamment à la lumière artificielle. Pour atteindre leur terrain de chasse, les Petits rhinolophes empruntent des **trajets où la luminosité naturelle s'élève à seulement 0.04 lx**. Des lampes à vapeur de sodium haute pression (lumière orange) placées le long des haies utilisées par les colonies de Petits rhinolophes pour gagner leurs terrains de chasse ont **diminué dramatiquement l'activité de ces chauves-souris à partir d'un niveau d'éclairage de 3.7 lx** et ont entraîné des changements de route vers des secteurs moins favorables. Les petits rhinolophes ne se sont pas habitués à l'éclairage artificiel, même pauvre en UV, le long de leur chemin préféré.

Ci-contre, l'entrée de la colonie de **Grands Rhinolophes à Vex**. L'éclairage a été pensé en 1987 déjà afin que les persiennes utilisées (flèche) par les chauves-souris pour accéder à leur colonie restent en permanence dans l'obscurité, malgré les éclairages avoisinants.



© A. Sierro



© A. Sierro



## Les effets SUR LES OISEAUX

Les oiseaux migrant de nuit s'**orientent grâce aux étoiles, au champ magnétique terrestre** et sont attirés par les sources de lumière. Désorientés dans le brouillard et éblouis par la lumière du halo des grandes villes, ils entrent parfois en **collision avec des bâtiments éclairés** ou tentent d'éviter la zone perturbée en **rallongeant inutilement leur voyage**. Les limicoles chassant à vue augmentent leur activité de chasse lorsque l'éclairage public illumine les bancs de sable. Par contre, ils s'aventurent à cette occasion dans des zones où la **prédation est élevée**. Chez la barge à queue noire, la densité des nids est plus faible jusqu'à 300m des routes éclairées; les ornithologues ont aussi remarqué que

les premiers couples de barge à queue noire s'installent loin des éclairages et seuls les derniers arrivés s'installent plus proche des lumières sur les derniers endroits restant (habitats suboptimaux). L'effet le plus insidieux de la lumière artificielle est celui du choix des partenaires: les jeunes mâles ont tendance à multiplier les relations extraconjugales sous l'effet de la lumière, ce qui favorise ces mâles dans la transmission des gènes, alors que les mâles expérimentés dans la reproduction sont défavorisés. **La sélection naturelle s'en trouve ainsi fortement influencée.**



**6.8 mio/an**  
d'oiseaux tués contre  
les tours illuminées la  
nuit aux USA et au  
Canada.



la nidification  
en ville démarre  
**1.5 jour** plus  
tôt que dans une  
situation obscure.



**20% par an**  
des jeunes pétrels  
meurent à cause des  
lampadaires sur l'île  
de la Réunion.

### EXEMPLES

*La ville d'Olsztyn (Pologne) éteint désormais l'éclairage de sa plus haute tour après avoir constaté que des grues tournaient autour au lieu de poursuivre leur migration.*

*Les oiseaux des villes (merles, mésange charbonnière et bleue, rougegorge) commencent à chanter plus tôt le matin sous l'influence de la lumière des éclairages publics.*

*A Leipzig, les ornithologues allemands ont montré que les merles commencent même à chanter 5h plus tôt que ceux des habitats semi-naturels environnants.*

*Les dortoirs de **corneilles** en milieu urbain s'avèrent plus exposés à la lumière que ceux de la campagne; c'est probablement un moyen d'éviter les prédateurs. La lumière favorise donc cet oiseau malin qui peut occasionner des dégâts dans les cultures. **A Sion**, il n'est pas rare de voir des **merles** cherchant de la nourriture sous les lampadaires en pleine nuit.*

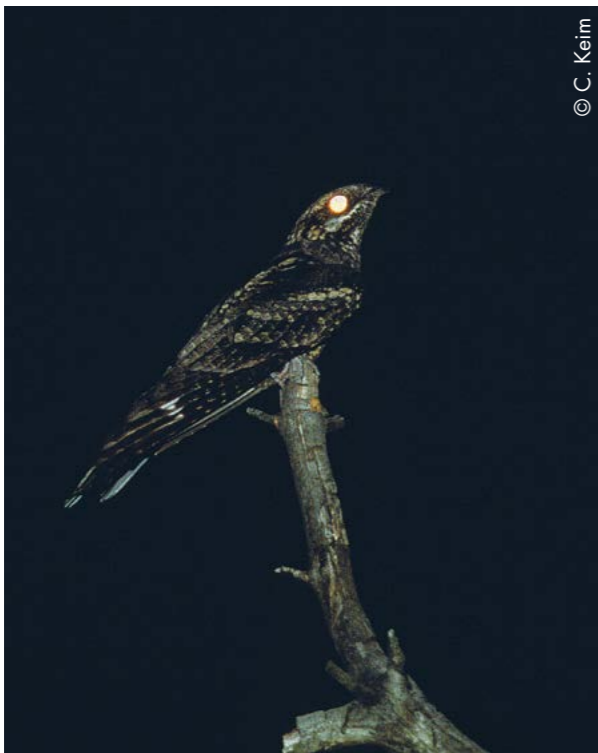
*Les **mésanges charbonnières**, dont on éclairait l'intérieur du nichoir, ont réduit leur sommeil et se sont réveillées plus tôt que les mésanges bleues voisines, qui ne semblaient pas perturbées.*

*Le **faucon pèlerin** prolonge son activité de chasse grâce à la lumière artificielle et en tire profit: certains individus chassent de nuit les oiseaux attirés par les lumières de l'Empire State Building à New York.*

*Déroutés, les **jeunes pétrel de l'île de la Réunion** (notamment le pétrel de Barau, endémique de l'île) meurent de faim au sol ou sont les proies faciles des prédateurs autour des lampadaires. En diminuant les éclairages lors de l'envol des jeunes en avril, les ornithologues ont réussi à faire chuter la mortalité juvénile.*



© M. Booyesen



© C. Keim

L'engoulevent, Fully/Buitonne 1990.

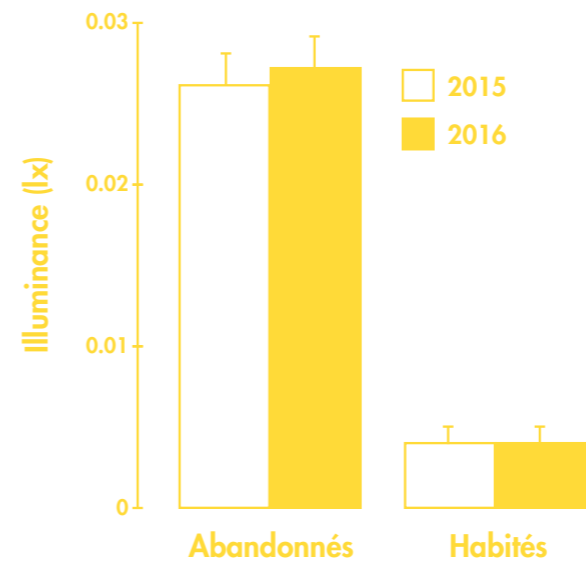
### CAS PARTICULIER : L'ENGOULEVENT

Oiseau nocturne, passant l'hiver en Afrique, l'**engoulevent** (*Caprimulgus europaeus*) **se nourrit exclusivement d'insectes nocturnes** (dont 80% de papillons de nuit). Il niche au sol dans les forêts séchardes comme les chênaies buissonnantes et les pinèdes pour autant qu'elles offrent des éclaircies. **Les sites occupés par l'engoulevent entre Fully et Sierre ont tous été désertés entre 1989 et 2002** malgré des habitats restés favorables ou des mesures de revitalisation. Des mesures de lumière effectuées sur les sites encore occupés du Haut-Valais et ceux délaissés dans le Bas-Valais ont montré une quantité de **lumière deux à neuf fois plus importante sur les sites abandonnés**. Doté d'yeux démesurés pour chasser à vue au crépuscule, l'engoulevent est **ébloui par les émissions lumineuses** en provenance de la plaine, ce qui l'empêche de se nourrir efficacement. La pollution lumineuse perturbe aussi les papillons de nuit, sa principale nourriture. Les modifications permanentes des biotopes ajoutés à la pollution lumineuse et l'évitement des zones touchées par les activités humaines influencent négativement les insectivores nocturnes comme l'engoulevent.



© A. Sierro

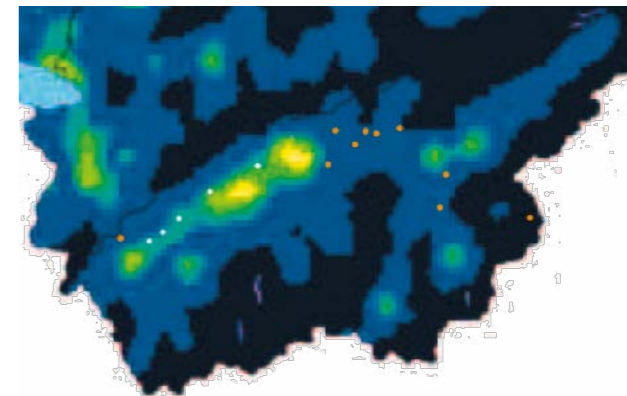
Le coteau de la plaine de Fully à Martigny a été déserté par l'engoulevent.



Moyennes des émissions lumineuses arrivant sur les sites abandonnés, respectivement encore habités par l'engoulevent.

### Carte des émissions lumineuses en Valais en 2009.

- **En jaune** : zones les plus touchées par la pollution lumineuse
- **En bleu** : zones avec un faible impact de la lumière.
- **Points blancs** : sites abandonnés par l'engoulevent entre 1989 et 2002
- **Points orange** : sites occupés par l'espèce en 2016.



## Les effets SUR LES MAMMIFÈRES

La plupart des mammifères nocturnes ont tendance à réduire leur activité de nourrissage et leurs déplacements durant les nuits éclairées par la lune. Ils évitent les clairières et les zones ouvertes et concentrent leurs déplacements dans les heures les plus sombres. C'est vraisemblablement une **stratégie anti-prédateur**. Les cervidés ne craignent pas de franchir une route éclairée si l'autre côté de la route est plongé dans l'obscurité.

D'après les recherches menées aux Etats-Unis, **éclairer une autoroute ne diminue pas le nombre d'accidents avec le gibier**, malgré le fait que les animaux soient plus visibles pour les conducteurs en situation éclairée. Sur une route non éclairée, l'éblouissement du gibier par les phares et l'aspect « surprise » semblent jouer un rôle majeur dans les accidents.

### EXEMPLES

*En Suisse, les lisières éclairées sont dix fois moins empruntées par les **renards**, les **chevreuils** et les **blaireaux**.*

*En Californie, les **jeunes pumas** *Felis concolor* se dispersent en utilisant des corridors noirs; les zones éclairées ne sont pas franchies.*

*Soumis à la lumière artificielle, le **micro-cèbe murin** *Microcebus murinus*, un petit lémurien, n'entre plus dans son état de torpeur naturel durant la journée et réduit ses activités nocturnes.*

*Les **cervidés** franchissent des routes éclairées pour autant que l'autre côté de la route soit plongé dans l'obscurité.*



© Palana997



© Ernie Jane

## Les effets SUR L'ÊTRE HUMAIN

Pour l'homme, les lumières bleues et blanches sont les plus gênantes. Les effets biologiques de la lumière ont été largement sous-estimés jusqu'à présent. En voici les principaux.

- > **Inhibition de la production de mélatonine** (hormone du sommeil)
- > **Contribution à des problèmes de santé** sérieux comme l'obésité, les diabètes, les maladies cardiaques, les dépressions et les attaques.
- > **Hyperactivité, problèmes de concentration et diminution de l'hormone de croissance** chez les enfants.
- > **Augmentation de l'îlot de chaleur urbaine** (dans une rue éclairée, il fait en moyenne un degré de plus que dans une rue sans éclairage), qui favorise le développement de maladies, d'insectes ravageurs de denrées alimentaires.

Les sources lumineuses réduites (écrans LED, ampoules économiques) peuvent aussi avoir des effets négatifs, car elles émettent plus de lumière dans le bleu, ce qui perturbe le rythme biologique. Le **remplacement des lampes** riches en UV et en lumière bleue par des lampes émettant dans l'orange est un **moyen de réduire les effets négatifs sur le rythme circadien**.

**3%**

des employés aux Etats-Unis rapportent dormir moins de 6 heures par nuit dans les années 1950.

**30%**

des employés aux Etats-Unis rapportent dormir moins de 6 heures par nuit dans les années 2000.

“ L'hygiène de lumière doit être : lumière naturelle durant la journée et obscurité relative pendant la nuit. ”

### BRÈVES

*La deuxième cause d'accident de la route est le manque de sommeil.*

*Le soir, la lecture sur une tablette provoque la suppression de la mélatonine, un retard de l'endormissement, une diminution du sommeil paradoxal et une diminution de la vigilance le matin.*

*L'exposition à la lumière artificielle en soirée provoque des insomnies, en particulier chez les personnes âgées.*

*La luminothérapie permet de soigner certains types de dépressions liées au manque de lumière.*



## Les effets SUR LA CHAÎNE ALIMENTAIRE

Les lampadaires attirent non seulement des insectes, mais aussi des groupes de prédateurs et de charognards, venus se nourrir des insectes. Cette nouvelle situation modifie l'activité de ces groupes d'organismes et altère la structure et le fonctionnement de l'écosystème. Les papillons, les diptères (mouches, moustiques), les névroptères (fourmilions, chrysopes), les phryganes, les punaises et les coléoptères sont les principaux groupes attirés par la lumière des lampadaires. Leur raréfaction a des répercussions sur l'écosystème, car, autant dans leur forme adultes que larvaires, ils sont un maillon incontournable de la chaîne alimentaire (proies des oiseaux, chauves-souris, micromammifères, insectes prédateurs, amphibiens, reptiles, etc.). Pour les nombreux invertébrés qui fuient la lumière - espèces lucifuges (perce-oreilles, blattes, cloportes, scorpions), l'extension généralisée des éclairages artificiels modifie leurs habitudes, ce qui bouleverse certains équilibres dans l'écosystème.

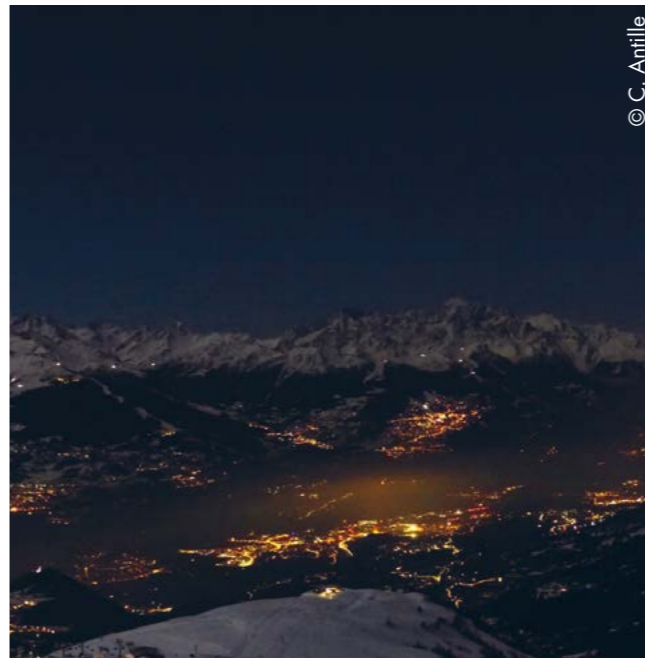
### EXEMPLES



© A. Zufferey

Lampadaire au bord de l'eau couvert d'insectes.

## Les effets EN RÉSUMÉ



© C. Anille

Les émissions lumineuses touchent toutes les altitudes (Sion-Nendaz).

La pollution lumineuse s'avère être une problématique émergente majeure dans la conservation de la biodiversité. L'extension de la lumière artificielle dans l'environnement cause des perturbations insidieuses, encore mal connues. Ce domaine de recherche a souvent été négligé jusqu'à récemment. De nos jours, des pays comme la Suisse reçoivent tellement de lumière qu'il devient difficile de trouver des conditions originelles d'obscurité pour étudier les véritables effets des émissions lumineuses. Les conséquences se traduisent par des perturbations touchant :

- > les **équilibres fondamentaux au sein des écosystèmes** (nouvelle pression de sélection par la lumière).
- > la capacité des écosystèmes à se remettre d'une perturbation, à se réorganiser ; la lumière est un obstacle supplémentaire pour la **récupération après un bouleversement**.
- > la **sélection naturelle des organismes**, favorisant les espèces tolérantes à la lumière.
- > la **distribution** et la **diversité des espèces**.
- > les **relations prédateurs-proies** (chaîne alimentaire).
- > les **déplacements** et l'**orientation** des organismes.
- > l'**horloge biologique** des êtres vivants.
- > la **pollinisation**, la **fructification** et la **distribution** des plantes.
- > le **sommeil** et l'**état général** chez l'être humain.



# 3

## **Solutions pratiques** CHECK-LIST ET ASPECTS TECHNIQUES

La pollution lumineuse s'avère être un problème sérieux aux solutions néanmoins faciles! La problématique s'apprécie à différentes échelles, - l'appartement, le quartier, la région. Certaines décisions ont un effet immédiat: allumé ou éteint.

## Repenser L'ÉCLAIRAGE PUBLIC

Il faut **se réconcilier avec la nuit** qui répond au besoin biologique (production de mélatonine) pour dormir. Des expériences montrent aussi que la convivialité augmente avec une lumière diminuée. Les effets sécuritaires de l'éclairage ne sont pas scientifiquement démontrés. L'éclairage contribue, au contraire, à augmenter la vitesse des conducteurs qui se sentent plus en sécurité. **Eclairer quand on en a besoin** : une extinction même partielle (balisage avec détecteur de mouvements) permet de réaliser jusqu'à 50% d'économie. Toutes sortes de technologies pour diminuer la consommation d'électricité ont été développées. Le renoncement à des éclairages superflus peine à être concrétisé. Pour certaines petites communes, il vaut mieux parfois

éteindre complètement l'éclairage public durant la nuit plutôt que d'envisager de coûteux changements de lampadaires. Eclairer un monument historique en permanence revient le plus souvent à le banaliser. **L'éclairer à certaines occasions** contribue à le mettre en évidence et à rappeler son existence. Plus de 6'000 communes en France ont testé l'extinction nocturne de l'éclairage public, mais moins d'une dizaine en Suisse romande. Même des grandes villes françaises comme Saumur (29'000 hab.) et Evreux (60'000 hab.) ont éteint leur éclairage quelques heures après minuit. Ces localités ont non seulement **économisé leur électricité**, mais ont aussi vu **diminuer fortement les graffitis, les déprédations et le tapage nocturne**.

» Choisir le luminaire en fonction du besoin. »  
www.slg.ch

### EXEMPLES

*En Angleterre, une étude révèle qu'il n'y a pas de différence significative sur le taux d'accidents corporels entre le jour et la nuit dans les giratoires éclairés ou pas.*

*En Belgique, le Ministère de l'Équipement et des Transports révèle que l'éclairage le long des autoroutes n'augmente pas la sécurité et qu'il y a en moyenne 35 morts par année contre les mâts des candélabres.*



*Noyée dans les éclairages de la route cantonale, la chapelle du Hubil (au centre) à Salquenen n'est guère mise en évidence.*

## Recommandations POUR L'ÉCLAIRAGE PUBLIC

### Localisation

- > N'éclairer **que dans les situations où cela est nécessaire** (sécurité), éviter hors de la zone à bâtir et des installations sportives.
- > **Limiter l'utilisation** autour des maisons.
- > **Renoncer** à installer des lumières **le long des cours d'eau**.



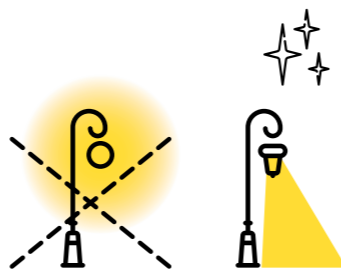
### Période

- > Utiliser si possible des **minuteries** et des **détecteurs de mouvement**.
- > **Eteindre les enseignes lumineuses** après minuit.
- > **Entre 21h00 et 6h00 du matin**, diminuer d'environ 80% l'intensité d'éclairage, voire éteindre complètement (cf. expérience à Corgémont, Jura bernois).



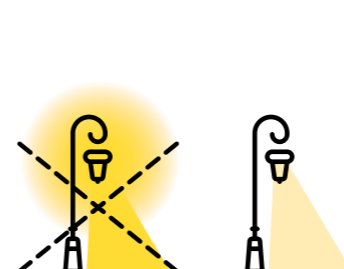
### Orientation

- > **Renoncer aux luminaires sphériques** qui dispersent dans l'atmosphère 85-90% de la lumière.
- > **Diriger la lumière vers le bas** grâce à des abat-jour et des déflecteurs.



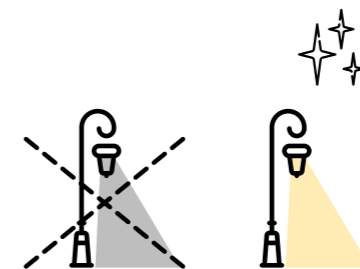
### Intensité

- > **Diminuer l'intensité lumineuse** des éclairages publics (actuellement entre 20-60 lx en ville) jusqu'à 4 lx.
- > Choisir des **éclairages non éblouissants** (favorables aux conducteurs âgés).



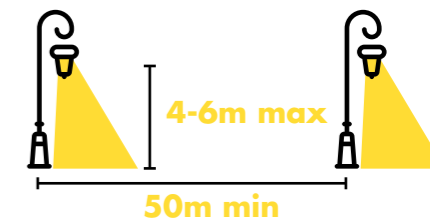
### Couleur / type de lumière

- > Privilégier les **LED « customisés »** (sans lumière blanche, ni bleue) ou les lampes à **vapeurs de sodium** (couleur orange).



### Aspect technique

- > **Installer des mâts éclairant précisément** au sol avec une **hauteur maximale de 4 à 6 m** selon les situations.
- > **Espacer les candélabres > 50 m**
- > **Revêtir la route d'un goudron absorbant** la lumière pour éviter la pollution lumineuse due au réfléchissement.





## Recommandations POUR LA FAUNE EN PARTICULIER

La pollution lumineuse menace les espèces par un changement des habitudes : fuite vers d'autres habitats, fractionnement des habitats de qualité, exposition à la prédation, croissance différée... Afin de protéger la faune et de maintenir les équilibres naturels, plusieurs paramètres doivent être respectés.

**Conserver de vastes surfaces** d'habitats **exemptes de lumière** (espèces lucifuges).

**Conserver des corridors de connexion sans lumière** entre les habitats pour garantir les échanges entre individus et le brassage génétique.

**Ne pas considérer les lampes au sodium** comme alternative idéale dans l'environnement, elles perturbent aussi la faune, les chauves-souris en particulier.

**Ne pas éclairer les entrées de colonies de chauves-souris**, ni les lisières, ni les chemins forestiers (terrains de chasse et voies de transit).

**Respecter les seuils de lumière tolérables pour la faune nocturne lucifuge** chassant en périphérie des zones habitées par l'être humain, d'après les dernières connaissances biologiques (0.005-0.04 lx selon les espèces).

**Diminuer de 80% l'intensité de l'éclairage public durant la nuit** (21h00-6h00) dans les villes et les villages, voire éteindre complètement selon les situations, afin de limiter l'influence sur les habitats naturels environnants.

## L'avenir

### LES LED, OUI MAIS...



#### AVANTAGES

- > Les LED ont le vent en poupe: ils sont **très efficaces**, **permettent d'économiser** jusqu'à 90% d'énergie dans l'usage quotidien et dispersent leur lumière de manière ciblée.
- > La **durée de vie** des LED dépasse plusieurs dizaines d'années.
- > Les LED atteignent leur niveau maximal de luminosité **dès l'allumage**.



#### INCONVÉNIENTS

- > Les LED ont aussi un inconvénient majeur: ils émettent beaucoup de **lumière blanche et bleue** et se montrent donc extrêmement attractifs pour les insectes.
- > Ils sont aussi perçus comme un **éclairage trop froid** par la plupart des gens. Avec un échauffement de seulement 32°C, les LED ne chauffent pas autant l'environnement que les lampes à incandescence (150°C) et les néons (70°C).
- > Leur production s'avère **énergivore** et les matériaux utilisés pour leur fabrication (indium, galium) **ne se recyclent pas**; ils sont aussi en quantité limitée sur la planète.



#### SOLUTION

- > Grâce à la forte demande sur le marché des technologies vertes, les fabricants peuvent facilement fabriquer des **LED neutres pour l'environnement**. Il suffit de **modifier le spectre de lumière produit par les LED**, afin qu'ils émettent une lumière plus chaude (orangée) et peu de lumière blanche et bleue.

#### BRÈVES

*Les LED sont aussi quasiment insensibles aux chocs, ne contiennent pas de mercure et sont en grande partie recyclable.*

*L'écobilan des LED (énergie grise...) reste toutefois très positif.*

*Un passage généralisé aux LED réduirait la consommation d'énergie mondiale de 40%, économiserait 128 milliards d'euros et diminuerait la production de CO<sup>2</sup> de 670 millions de tonnes par an (Philips Lighting 2014).*

*On prévoit que les LED couvriront 70% du marché de l'éclairage en 2020.*

*Il est à craindre que les LED encouragent l'installation d'éclairages inutiles sous le couvert des économies d'énergie.*

## Selection DE RÉFÉRENCES

- Altermatt F. & D. Ebert (2016). **Reduced flight-to-flight behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution.** *Biology Letters* 12: 1-4
- Beier P. (2005). **Effects of artificial night lighting on terrestrial mammals.** In *Ecological consequences of artificial night lighting* (C. Rich and T. Longcore, eds.). Island Press, Washington, D. C.
- Bruce-White C. & M. Shardlow (2011). **A review of the impact of artificial light on invertebrates.** Buglife, The invertebrate Conservation Trust.
- Le Corre M., A. Ollivier, S. Ribes & P. Jouventin (2002). **Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean).** *Biological Conservation* 105: 93-102
- Davies T. W., J. Bennie, R. Inger, N. Hempel de Ibarra & K. J. Gaston (2013). **Artificial light pollution: are shifting spectral signatures changing the balance of species interactions ?** *Global Change Biology* 19: 1417-1423
- Davies T. W., J. B. Bennie, D. Cruse, D. Blumgart, R. Inger & K.J. Gaston (2017). **Multiple night-time light-emitting diode lighting strategies impact grassland invertebrate assemblages.** *Global Change Biology*, 10.1111/gcb.13615
- Gaston K., M. Visser & F. Hölker (2015). **The biological impacts of artificial light at night: from molecules to communities.** *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*, Vol 370.
- Hölker F., T. Moss 2, B. Griefahn, W. Kloas, C. C. Voigt, D. Henckel, A. Hänel, P. M. Kappeler, S. Völker, A. Schwoppe, S. Franke, D. Uhrlandt, J. Fischer, R. Klenke, C. Wolte & K. Tockner (2010). **The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy.** *Ecology and Society* 15: 13.
- Klaus G., B. Kägi, R. L. Kobler, K. Maus & A. Righetti (2005). **Recommandations en vue d'éviter les émissions lumineuses.** L'environnement pratique. OFEFP, Berne. 37 p.
- Kempenaers B., P. Borgström, P. Loës, E. Schlicht & M. Valcu (2012). **Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success and lay date in songbirds.** *Current Biology* 20: 1735-1739
- Kloog I., B. A. Portnov, H. S. Rennert & A. Haim (2011). **Does the modern urbanized sleeping habitat pose a breast cancer risk ?** *Chronobiology International* 28: 76-80
- Knop E., L. Zoller, R. Ryser, C. Gerpe, M. Hörler & C. Fontaine (2017). **Artificial light at nights as a new threat to pollination.** *Nature* 548: 206-209
- Longcore T., C. Rich, P. Mineau, Beau MacDonald, D. G. Bert, L. M. Sullivan, E. Mutrie, S. A. Gauthraux Jr., M. L. Avery, R. L. Crawford, A. M. Manville II, E. R. Tavis & D. Drake. (2012). **An estimate of avian mortality at communication towers in the United States and Canada.** *Plos ONE* 7: e34025. doi:10.1371/journal.pone.0034025
- Perkins E. K., F. Hölker & K. Tockner (2014). **The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects.** *Freshwater Biology* 59: 368-377
- La Recherche (2015). **La lumière. Les révolutions que préparent les scientifiques.** Energie, Internet, électronique, espace, santé. 98 p.
- Rich C. & T. Longcore (2006). **Ecological consequences of artificial night lighting.** Island Press. Washington. 458 pp.
- Rydell J., J. Eklöf & S. Sanchez-Navarro (2017). **Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches.** *Royal Society Open Science* 4: 161077
- Smith M. (2009). **Time to turn off the lights.** *Nature* 457: 27
- Stone E. L., S. Harris & G. Jones (2015). **Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions.** *Mammalian Biology* 80: 213-219
- Wise S. (2007). **Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: amphibians as models.** Department of Biology, Utica College, Utica, NY USA. 10 p.
- Zissis G., & P. Bertoldi (2014): **Update on the status on the LED market.** European Commission Report EU 2700 EN.



- [www.ciel-noir.org](http://www.ciel-noir.org) Association suisse pour la réduction de la pollution lumineuse
- [www.lamper.ch](http://www.lamper.ch) Agence suisse pour la protection de l'environnement nocturne
- [www.slg.ch](http://www.slg.ch) Association suisse pour l'éclairage

## Mes NOTES

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---