



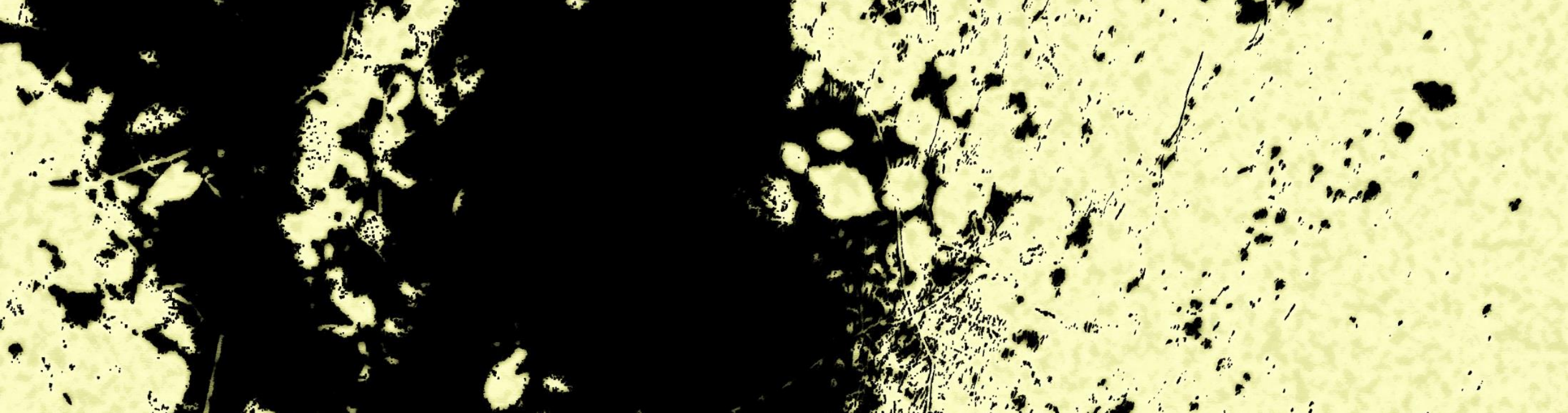
# POLLUTION LUMINEUSE ET BIODIVERSITÉ : DES ENJEUX SCIENTIFIQUES À LA TRAME NOIRE

Aix-en-Provence - 20/12/2018

**Romain Sordello**

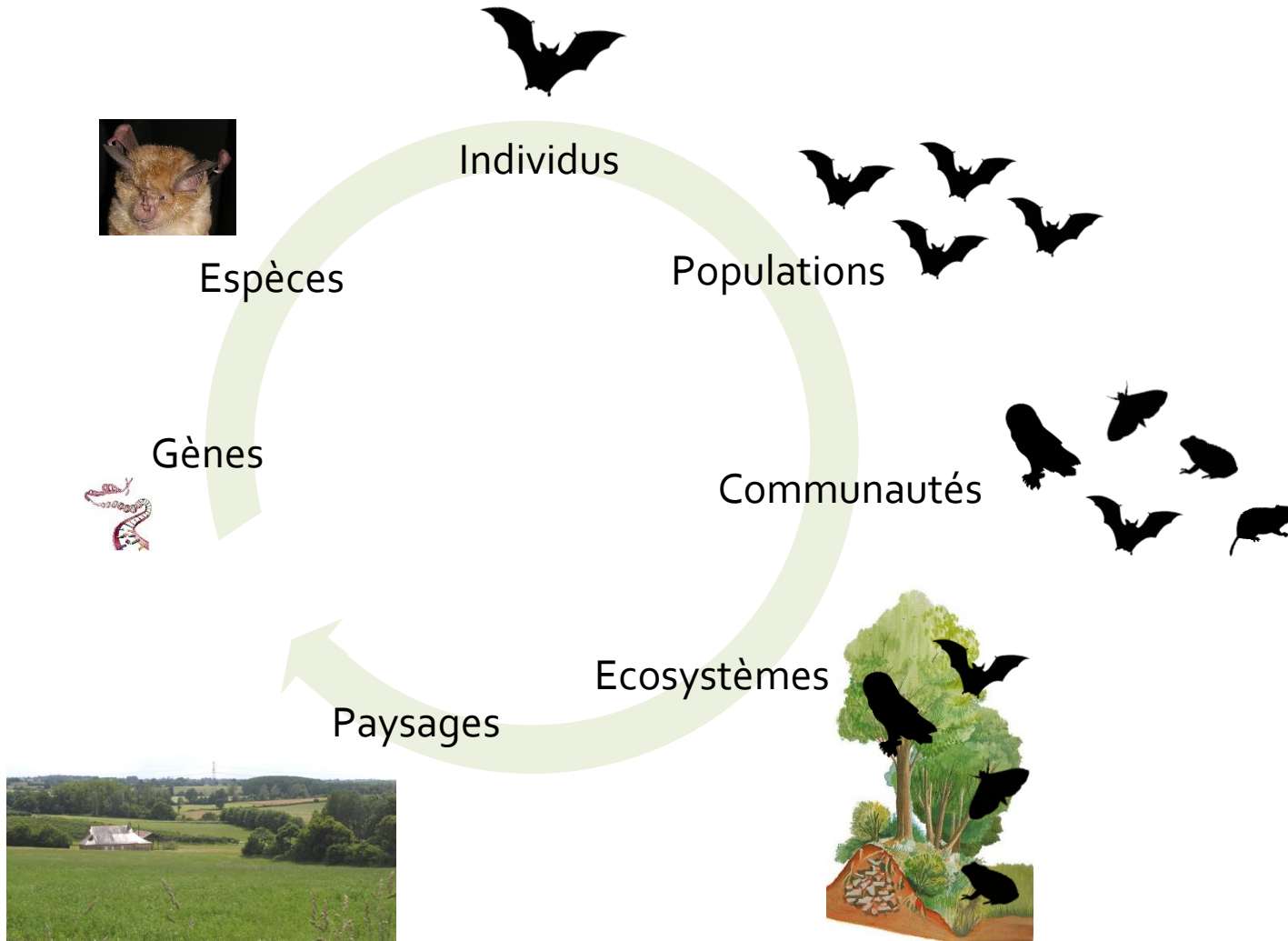
Chef de projet  
Pollution lumineuse  
& Trame verte et bleue



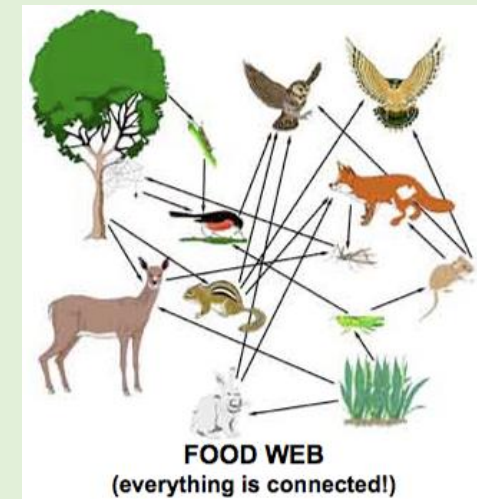
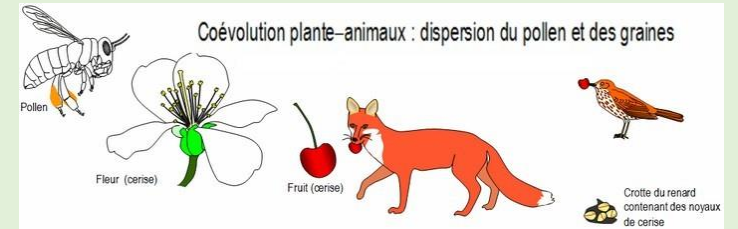


# LA BIODIVERSITÉ NOCTURNE

# La biodiversité c'est la diversité qui existe à toutes les échelles du vivant



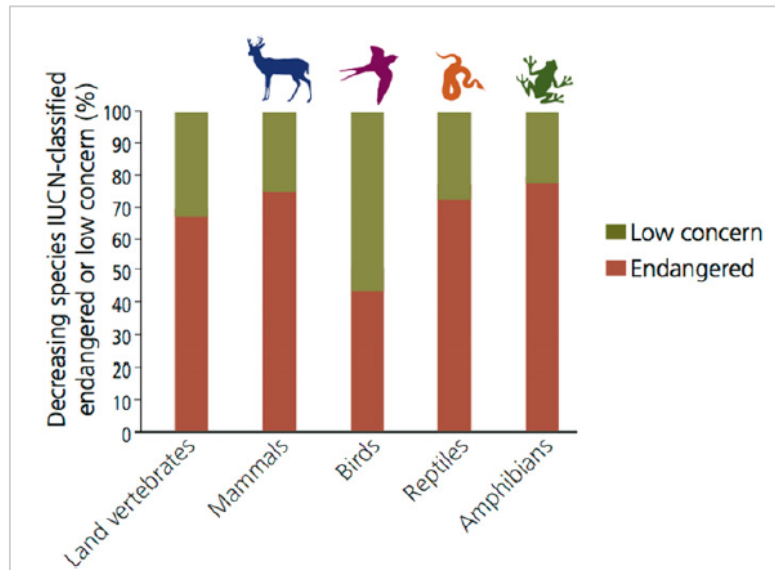
## Composition, répartition et fonctionnement



# Erosion massive de la biodiversité

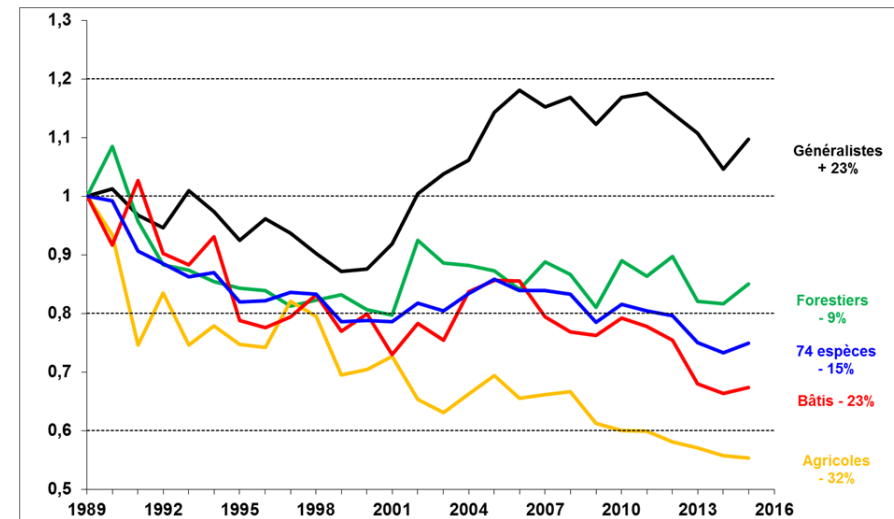
Disparition d'espèces mais surtout :

- Diminution des aires de répartition : >80% pour 40 % des vertébrés dans le monde (Ceballos et al. 2017)
- Baisse drastique des effectifs : 80% des insectes disparus en Europe en 30 ans (Hallman et al. 2017)
- Homogénéisation des communautés à la faveur des espèces généralistes



6<sup>ème</sup> extinction de masse, cette fois-ci d'origine anthropique

Plusieurs causes parmi lesquelles **les pollutions et la dégradation/fragmentation des habitats**



Suivi temporel des oiseaux communs en France (MNHN)

## World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice

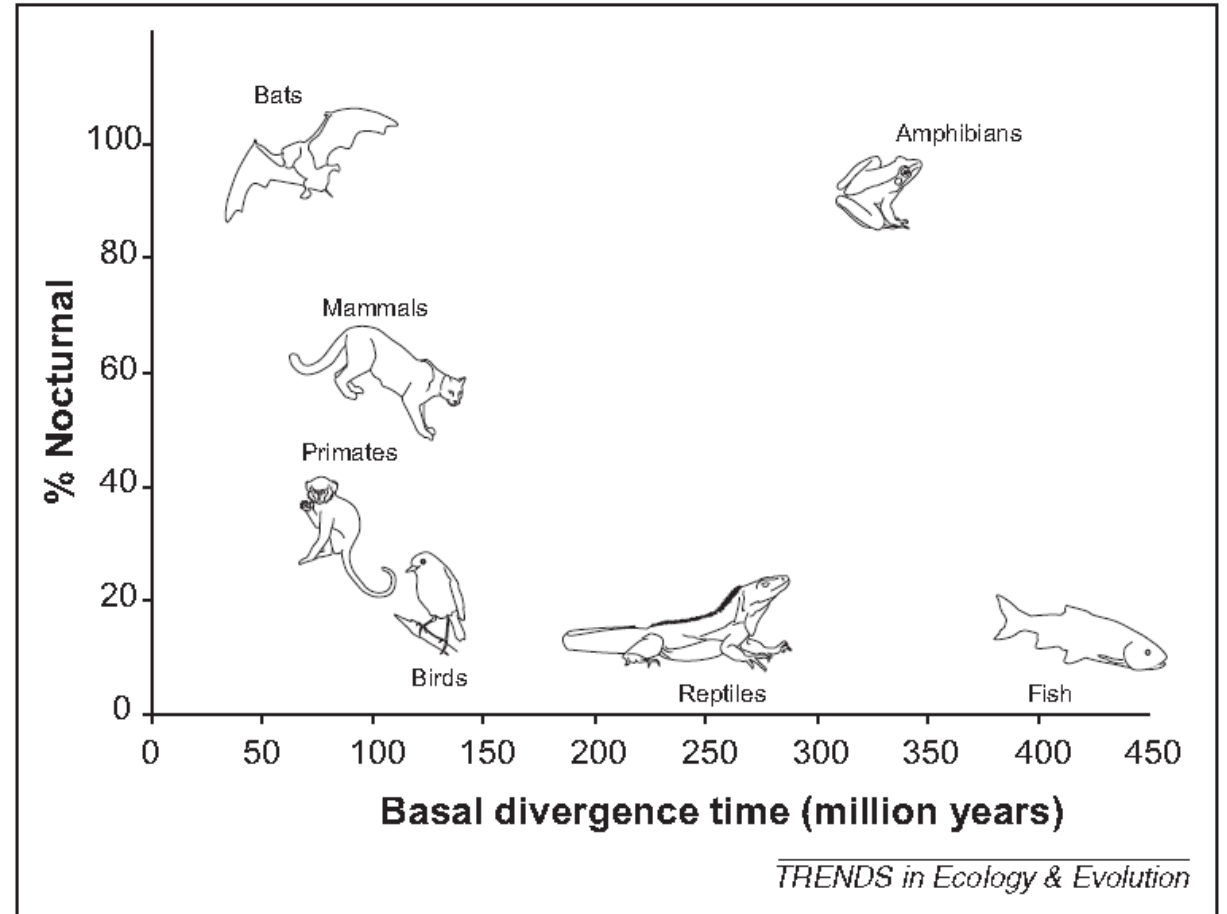
WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, MAURO GALETTI, MOHAMMED ALAMGIR, EILEEN CRIST, MAHMOUD I. MAHMOUD, WILLIAM F. LAURANCE, and 15,364 scientist signatories from 184 countries

# La majorité des animaux sont nocturnes en tout ou partie

# 28 % des vertébrés  
et # 64 % des  
invertébrés

L'alternance jour/nuit a constitué  
un paramètre structurant de  
l'Evolution

=> Diverses **adaptations**  
biologiques, morphologiques,  
comportementales permettent  
de vivre la nuit



Holker et al. 2010

# Produire soi-même de la lumière = Bioluminescence



Luciole  
*Luciola lusitanica*

Ex : Oliveira et al. 2015

Pieuvre, *Stauroteuthis syrtensis*

*...Pour voir ou communiquer*



Ver luisant, *Lampyrus noctiluca* (Photo Yikrazuul)

# Optimiser la lumière naturelle nocturne

Lérot, *Eliomys quercinus*  
Photo Vincent Vignon



*Tapetum lucidum*

Photo R. Sordello

*Gros yeux placés dans des paraboles*

Photo R. Sordello

*=> Adaptations biologiques et morphologiques, comportementales*

*Ex : Veilleux & Cummings 2012*

# Se repérer la nuit

*Utilisation des structures lumineuses (Lune, Constellations) comme repères nocturnes*

*Ex : Wiltschko et al. 1987*



Fauvette des jardins,  
*Sylvia borin*

Photo Steve Garvie

*Ex : Mauck et al. 2008*



Phoque commun, *Phoca vitulina*

Photo



# L'influence des variations lunaires

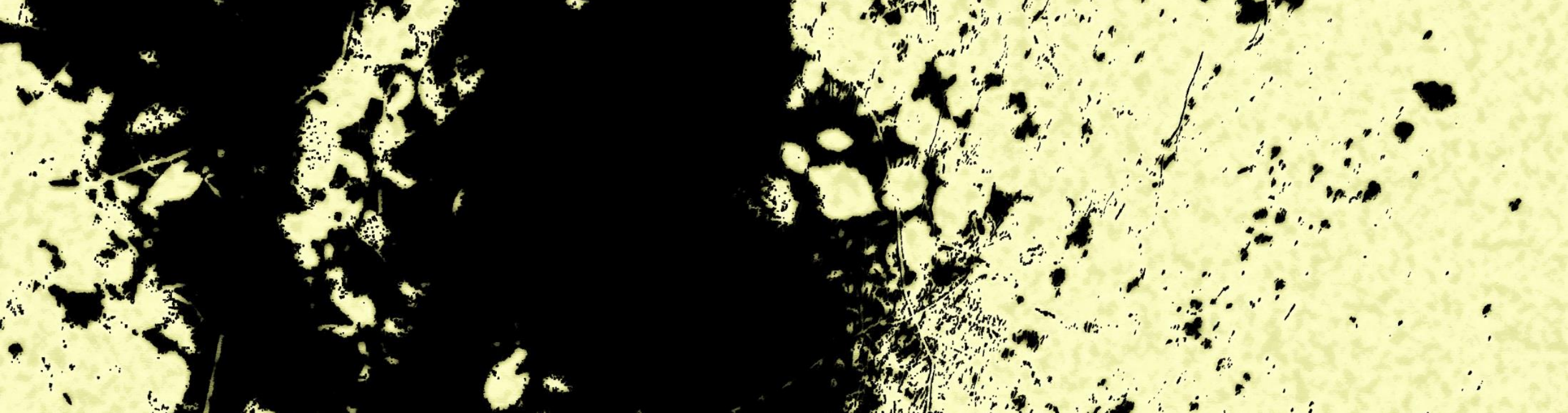


Source : [http://etoiledelune.pagesperso-orange.fr/divers/phase\\_lune.jpg](http://etoiledelune.pagesperso-orange.fr/divers/phase_lune.jpg)

Éclairement lumineux	Exemple
<1 lux	Clair de lune
0,25 lux	Pleine lune par une nuit claire
0,01 lux	Quartier de lune
0,002 lux	Ciel étoilé sans lune
0,0001 lux	Ciel couvert sans lune

*Une **sensibilité très fine** du vivant à la lumière nocturne !*

*Ex : Prugh & Golden 2014, Mougeot & Bretagnolle 2000*



# LA POLLUTION LUMINEUSE

# L'être humain : animal diurne....et ingénieux.... produit de la lumière artificielle pour prolonger son activité sur la période de nuit



Infrastructures diverses  
(parkings, zones  
industrielles, ...)



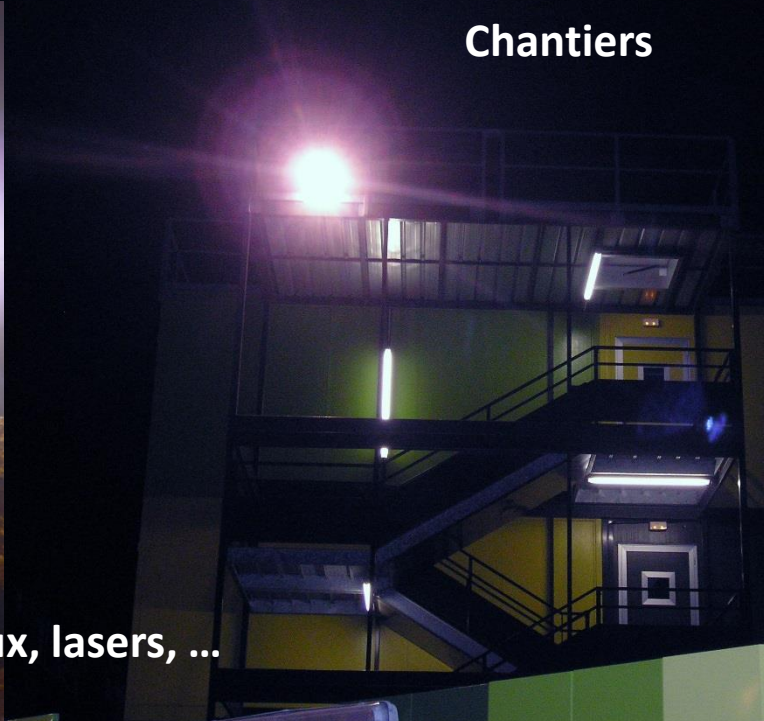
Enseignes lumineuses



Monuments



Structures sportives



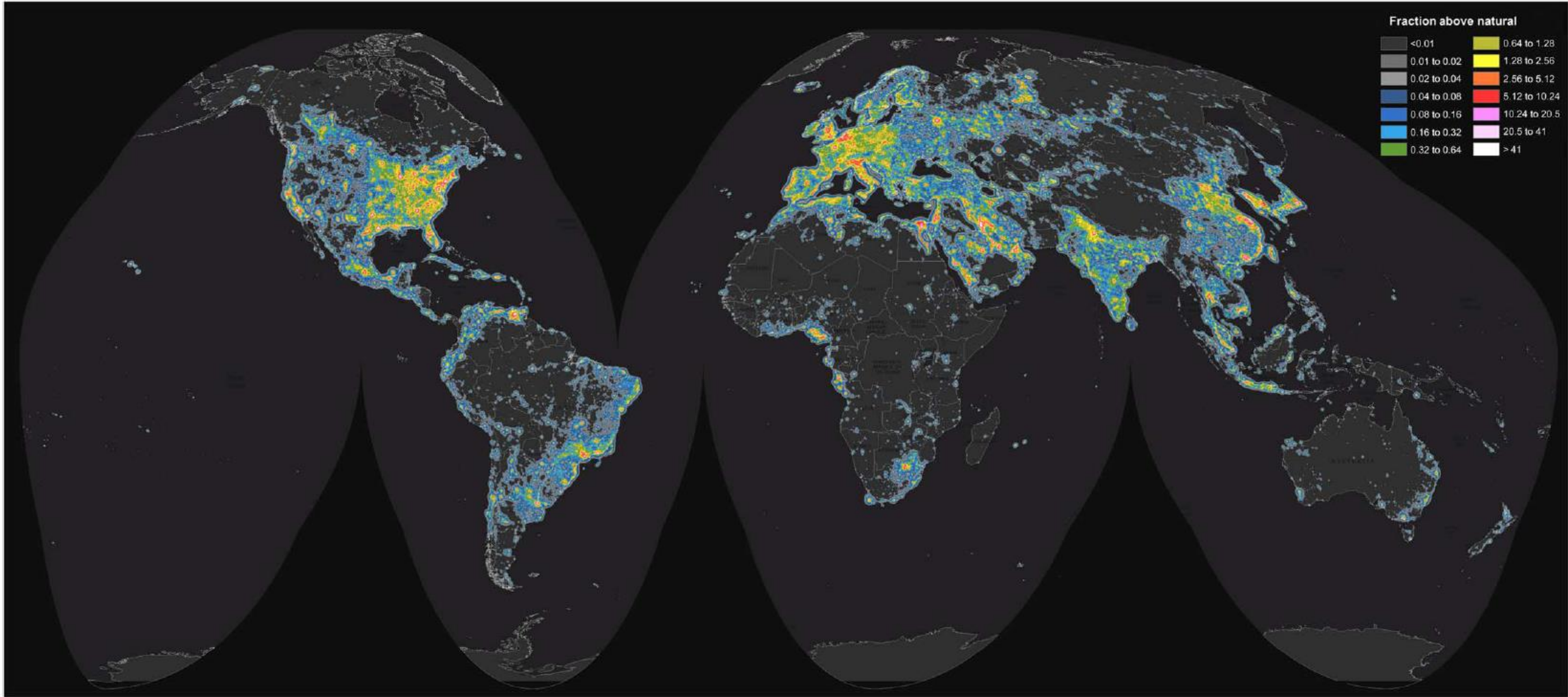
Chantiers

Bureaux, lasers, ...



Eclairage de rue

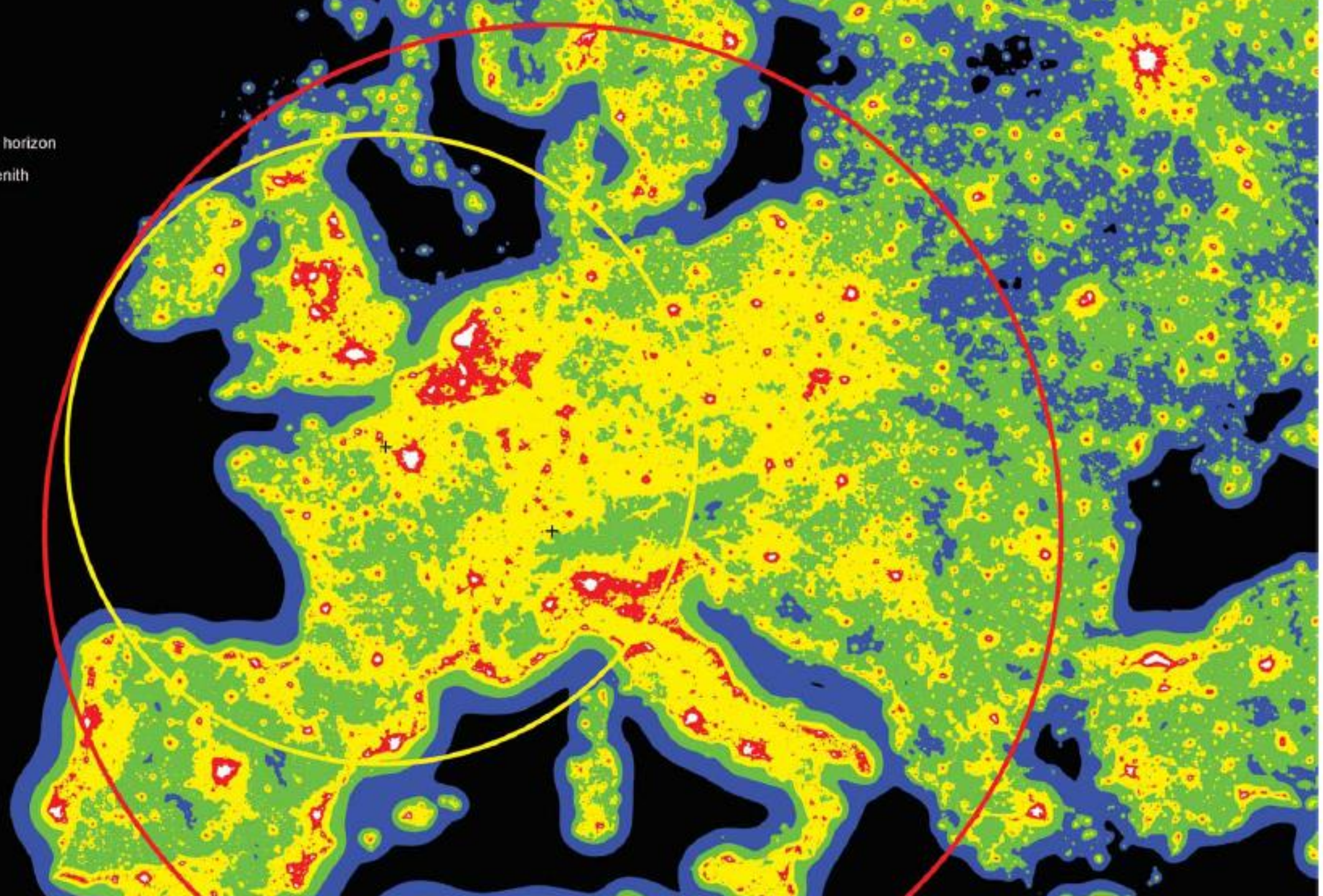
# Un phénomène planétaire



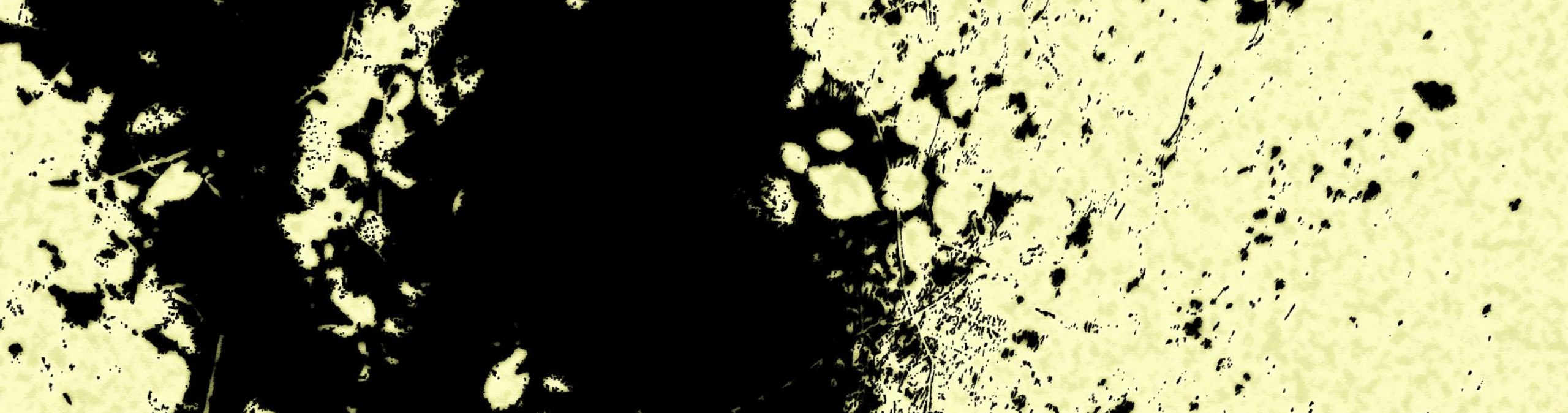
*Falchi et al., 2016*

### Visual impacts

- Pristine sky
- Degraded near the horizon
- Degraded to the zenith
- Natural sky lost
- Milky Way lost
- Cones active



Falchi et al.,  
2016



**EFFETS SUR LA BIODIVERSITÉ**

# Des publications croissantes depuis plus d'un siècle

1900

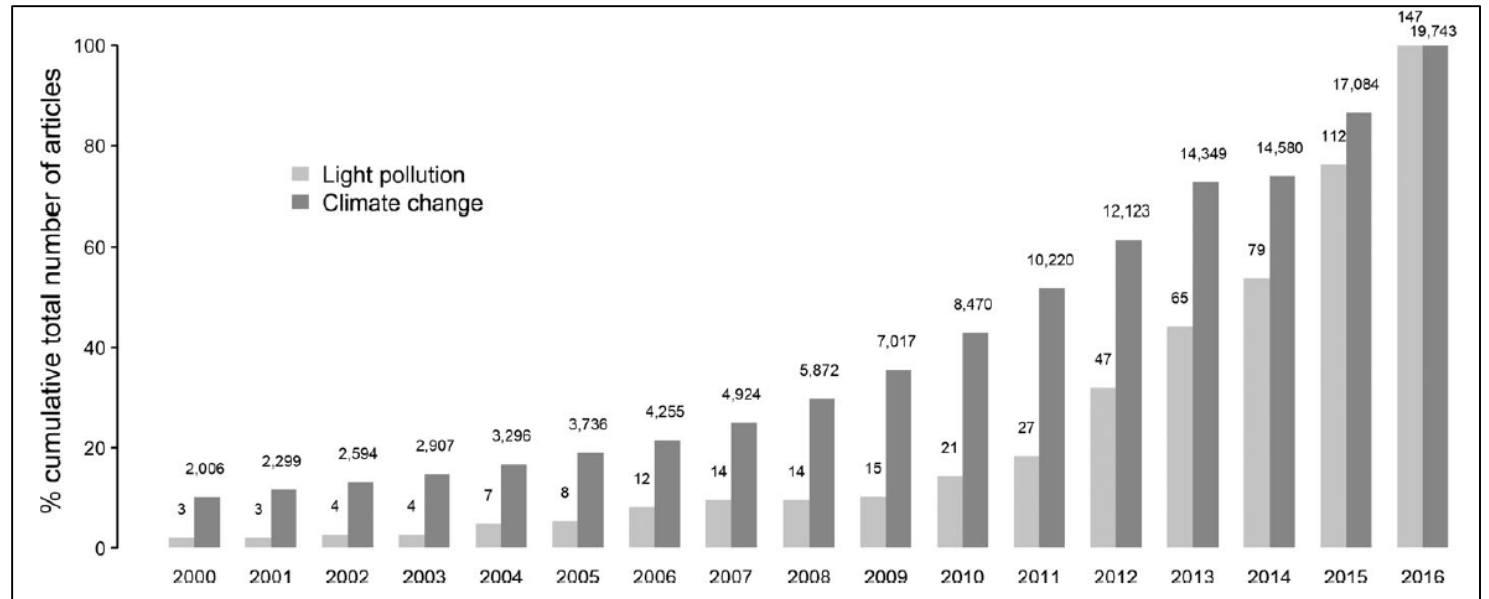
*Premiers constats naturalistes (arbres en ville, collisions d'oiseaux)*

*Espèces emblématiques (tortues marines, oiseaux marins, papillons de nuits)*

*Montée en puissance de la recherche en écologie*

*Etude de nouveaux groupes biologiques, des niveaux complexes de biodiversité (relations, paysages, ...)*

2018



*Davies & Smith, 2017*

## Des besoins de connaissances :

- groupes sous-étudiés
- fondamentales et opérationnelles
- revues systématiques
- partenariats et études interdisciplinaires

# Le mécanisme de base : le phototactisme

-

+

*Une action à distance !*

*Répulsion*

*Attraction*



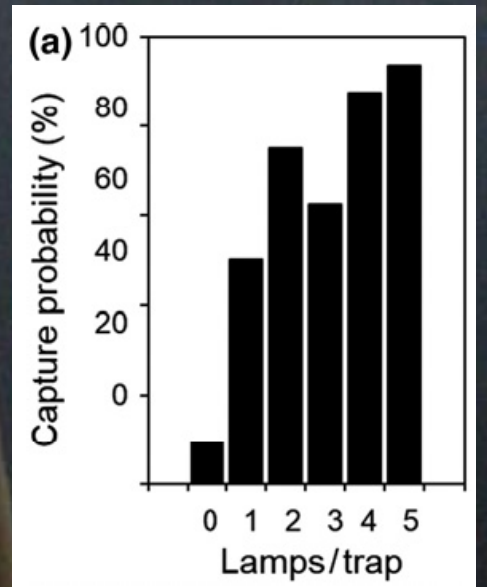
# Attraction, désorientation, collisions

=> *effets démographiques*  
Piège écologique

*Ex : Justice & Justice 2016*

Des effets pour des quantités  
de lumière très faibles (# 1  
lux)

*Eccart et al. 2018*



# Evitement des zones éclairées

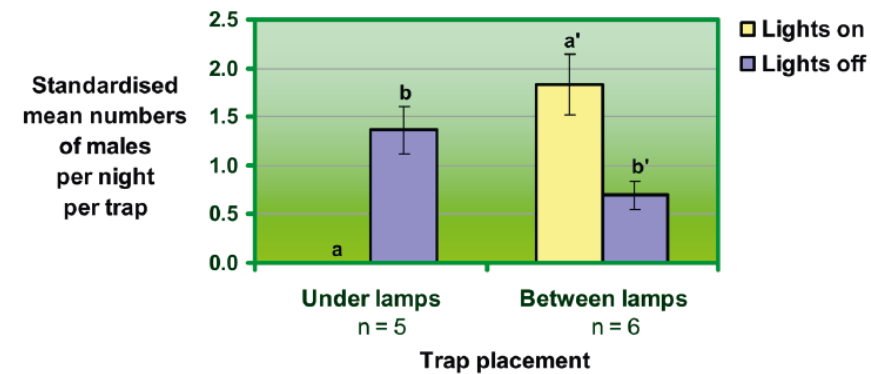
=> Dégradation et recul de l'habitat spatial et temporel



Photo R. Sordello



Photo S. Winter



**Figure 3** Standardised mean numbers ( $\pm$  S.E.) of *L. noctiluca* males captured per night per trap under and between street lamps when lamps were switched on or switched off. Means with the same letter within trap placement categories were not significantly different (paired t-test,  $P \leq 0.005$ ).

Ineichen &  
Ruettimann, 2016

Ex : Picchi et al. 2013, Stone et al. 2009, Beier 1995

# Modifications des relations interspécifiques

## Rapports Proies/Prédateurs

Ex : Minnaar et al. 2014, Decandido & Allen 2006

## Pollinisation

Ex : Knop et al. 2017



P. Gourdain

# Fragmentation et mitage nocturne

- Visuellement évident
- Désormais démontré sur le plan fonctionnel (ex : Van Grunsven et al., 2017)



**Synthèses :**  
**Sordello, 2017**  
**Sordello et al., 2014**

# Effet sur les rythmes biologiques



*Ex : Ffrench-Constant et al. 2016, ...*



*Ex : Dominoni 2015, Le Tallec et al. 2013, ...*

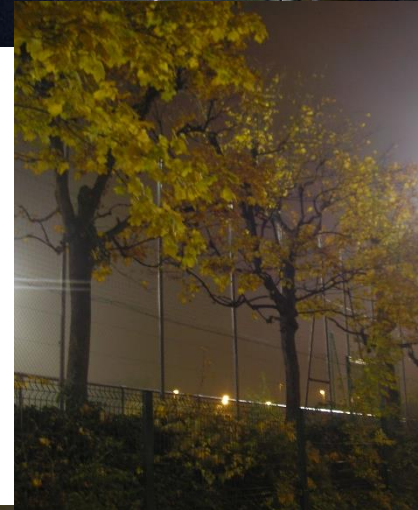


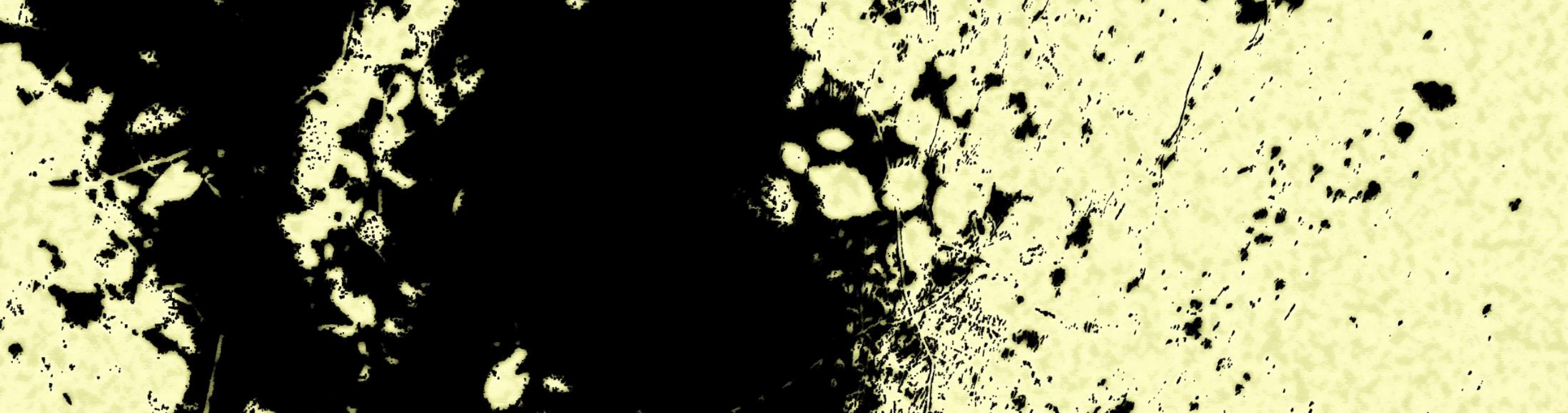
**=> Désynchronisation, baisse de l'activité, stress, vieillissement, ...**

# Au final la pollution lumineuse est un problème multiforme

- De la lumière directe (éblouissement)
- De la lumière précise (points lumineux)
- De la lumière ambiante (luminosité)
- De la lumière projetée (sol, eau)
- De la lumière diffuse (halo, skyglow)

Sordello 2017 Vertigo





# COMMENT GÉRER L'ÉCLAIRAGE NOCTURNE ?

# Législation / Règlementation

Grenelle de l'environnement (2007)

=> Enjeux intégrés dans le **Code de l'environnement**, y compris vis-à-vis de la faune et de la flore.

Différents décrets et arrêtés post-Grenelle, dont **arrêté sur les vitrines, façades et bureaux en vigueur depuis le 01/07/2013**

Loi Biodiversité :

- Quelques confirmations :
  - paysages patrimoine commun, diurnes et nocturnes (art. L110-1 CE)
  - devoir de protection de l'environnement y compris nocturne (art. L110-2 CE)
  - la TVB doit prendre en compte la gestion de la lumière artificielle la nuit (art. L371-1 CE)
- Quelques avancées :
  - préservation des paysages (charte PNR) doit prendre en compte la pollution lumineuse (art. L350-1C CE)
  - **pollution lumineuse sous-marine (art. L219-8 CE)**

En avril 2018 : l'Etat est condamné par le Conseil d'Etat pour défaut de réglementation en matière de biodiversité suite à un contentieux d'ONG => **Un arrêté ministériel rédigé par le Ministère de l'écologie est sur le point de paraître**



# Grands principes

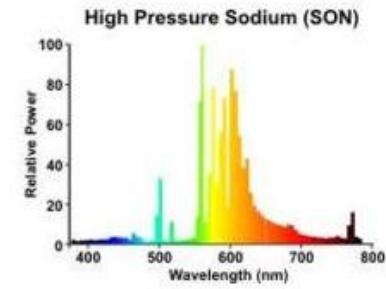
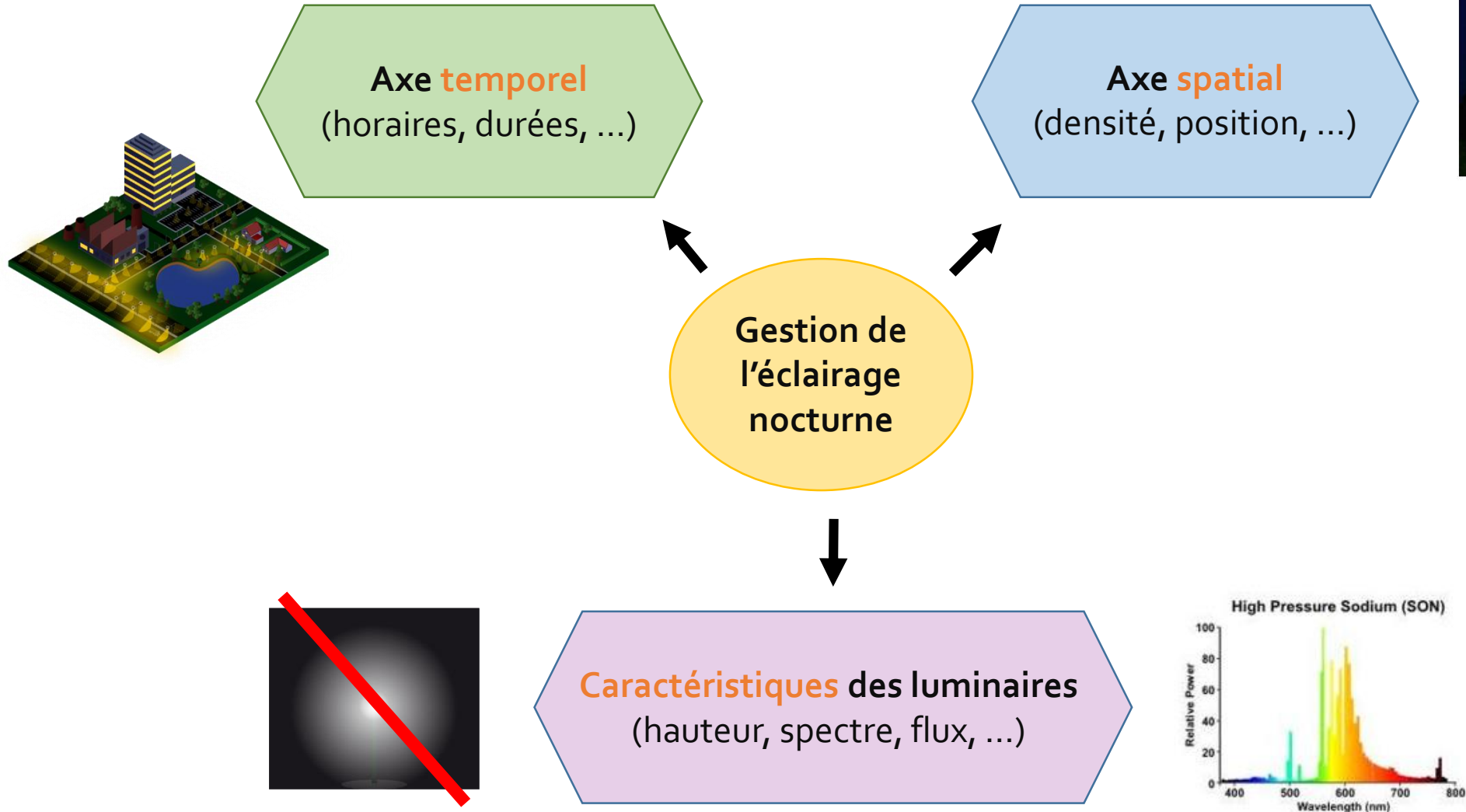
Bonne nouvelle : la pollution lumineuse est **réversible**  
(contrairement à d'autres pollutions)

Se questionner sur l'**opportunité** même d'éclairer

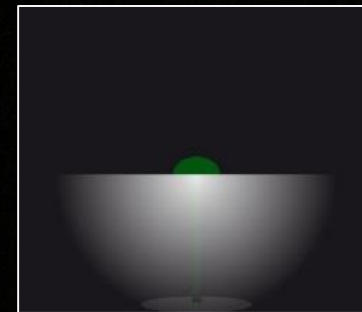
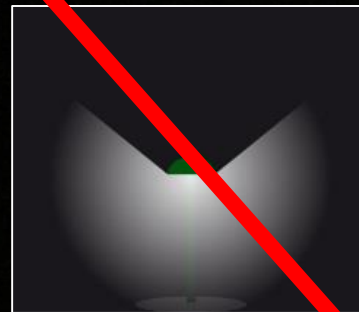
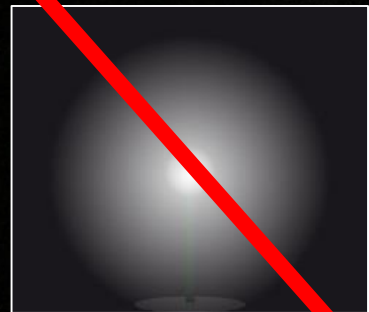
Si le choix d'éclairer est fait (besoin) :

**éclairer ce qu'il faut, quand il faut, où il faut**

# Trois axes d'actions possibles



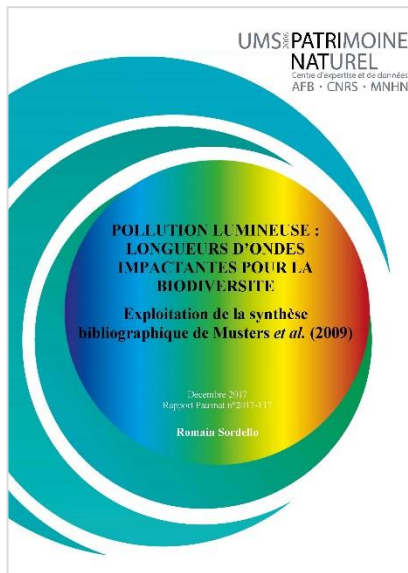
# L'orientation des luminaires



# La composition de la lumière (spectres)

*La lumière ne sert pas qu'à voir*

*Sensibilité variable aux plages de longueurs d'ondes selon les espèces et les fonctions considérées*



Sordello 2017  
d'après Musters et al 2009

	Ultraviolet (<380nm)	Violet (380-450nm)	Bleu (450-500nm)	Vert (500-550nm)	Jaune (550-600nm)	Orange (600-650nm)	Rouge (650-750nm)	Infrarouge (>750nm)
<b>Plantes</b>	• Croissance	• Croissance	• Croissance	• Croissance			• Croissance • Horloge circadienne	• Croissance • Horloge circadienne • Horloge circannuelle • Rapports proies/prédateurs
<b>Crustacés</b>				• Phototactisme			• Activité • Phototactisme	
<b>Arachnides</b>		• Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	
<b>Insectes</b>	• Phototactisme • Orientation		• Phototactisme • Orientation	• Phototactisme	• Phototactisme		• Phototactisme	
<b>Amphibiens</b>	• Activité	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Orientation • Phototactisme	• Orientation • Phototactisme	• Phototactisme	
<b>Oiseaux</b>	• Régulation hormonale • Orientation	• Orientation	• Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Orientation	• Orientation	• Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Croissance
<b>Poissons</b>			• Régulation hormonale • Croissance • Phototactisme	• Croissance • Phototactisme	• Phototactisme		• Phototactisme	
<b>Mammifères (hors chauves-souris)</b>	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Régulation hormonale • Horloge circadienne		• Horloge circadienne • Activité • Phototactisme	• Horloge circadienne • Activité • Phototactisme	• Horloge circadienne • Activité	• Horloge circadienne
<b>Chiroptères</b>		• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Activité	• Horloge circadienne	
<b>Reptiles</b>		• Phototactisme	• Phototactisme	• Phototactisme	• Activité			

Tableau 2 : Types d'impacts par plage de longueur d'onde pour chaque groupe biologique d'après Musters *et al* 2009

Légende :

	1 type d'impact		2 types d'impacts		3 types d'impacts		4 types d'impacts
--	-----------------	--	-------------------	--	-------------------	--	-------------------

# Plusieurs sources lumineuses avec chacune leur spectre

**LAMPES A INCANDESCENCE**

Le courant passe dans un filament qui produit alors de la chaleur et de la lumière





**Tungsten Incandescent**




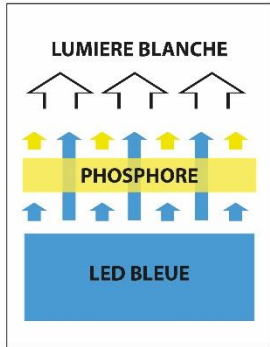
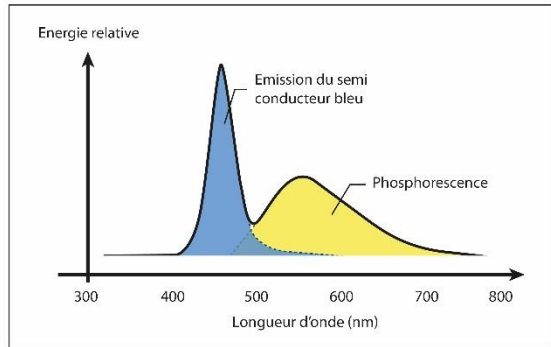
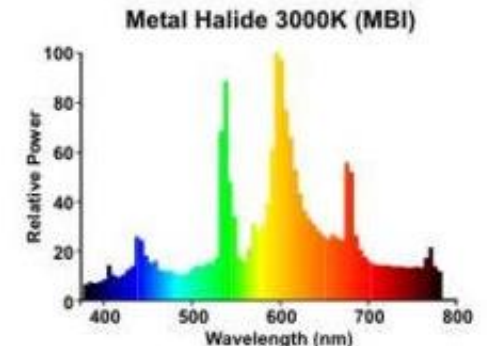
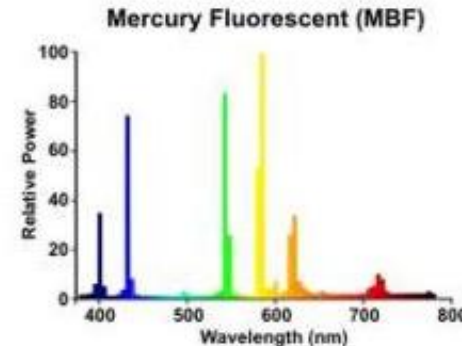
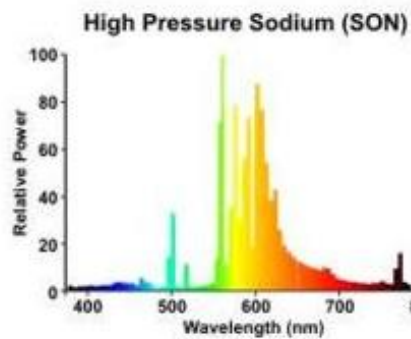
**LAMPES A DÉCHARGE**

Une décharge électrique est envoyée dans un tube rempli de gaz

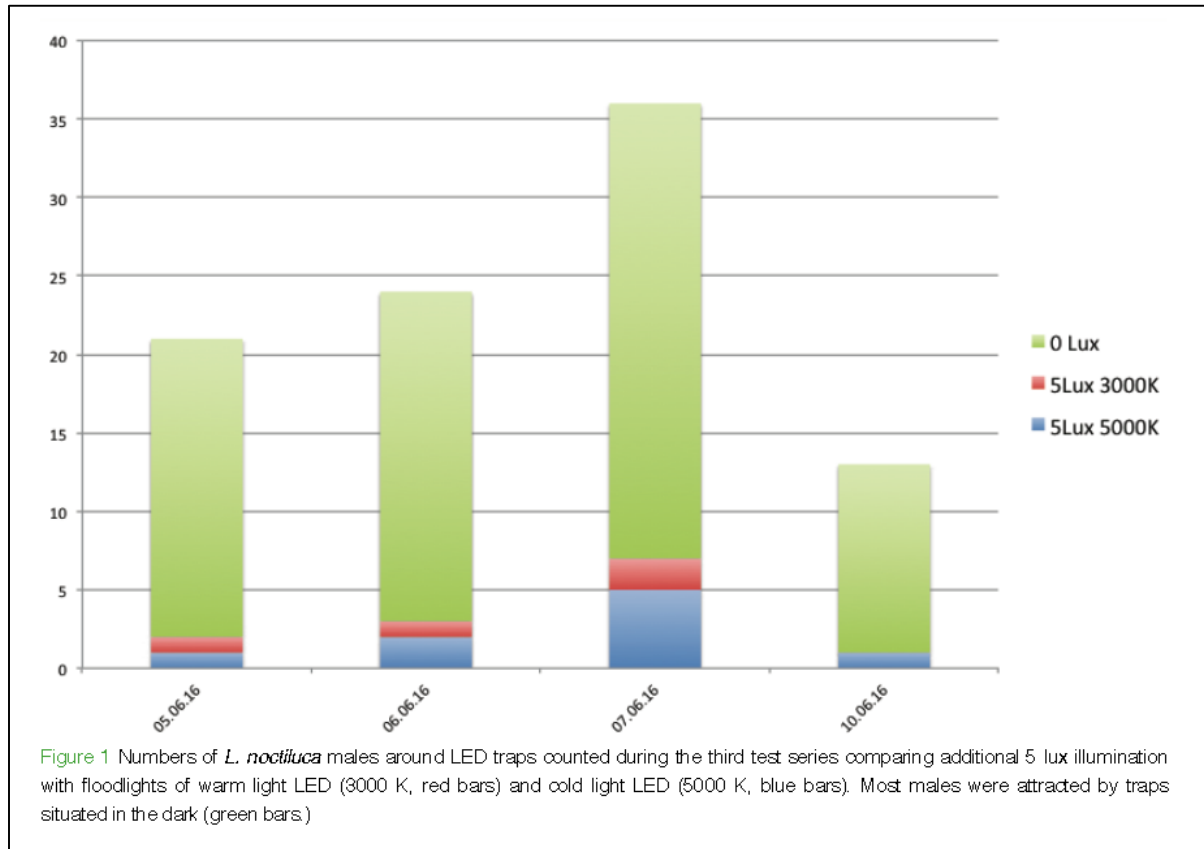
**SEMI-CONDUCTEURS**  
LED, OLED

Diode Electro Luminescente (Composés électroniques)

# Composition de la lumière (spectres) : quelles préconisations ?

Difficulté à préconiser telle ou telle longueur d'onde dans l'absolu => dépend des enjeux (diagnostic de biodiversité)



Lusti & Ineichen, 2016



Photo F. Lamiot

Deux règles générales :

- Privilégier les **spectres les plus étroits** pour impacter le moins d'espèces/fonctions possible (ex : Davies, 2013)
- Si LED blanches : **températures de couleur < 3000°K** diminuent les effets selon certains auteurs (ex : Longcore et al., 2015) mais pas dans tous les cas (ex : Pawson & Bader 2014, Lusti & Ineichen 2016)

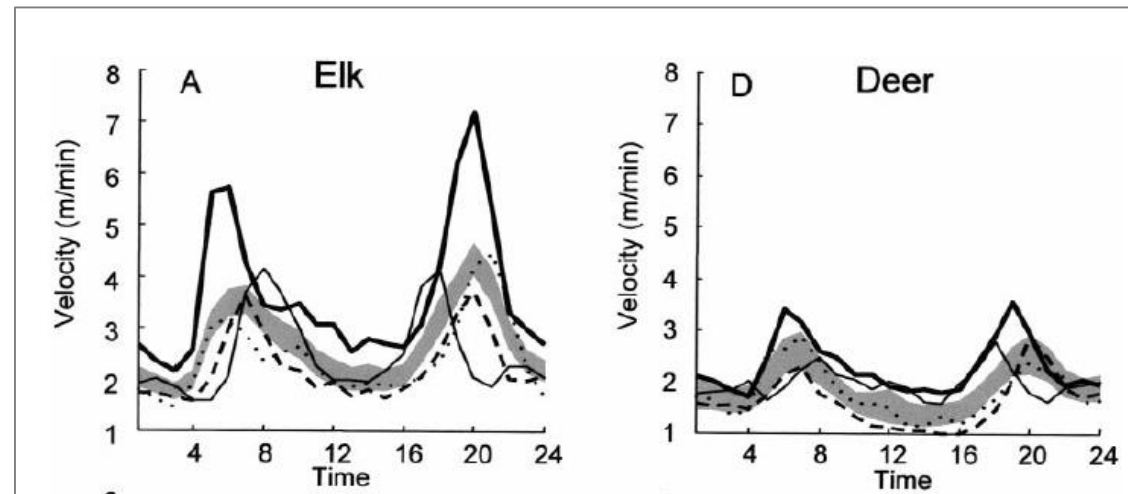
# La temporalité de l'éclairage

Coupure en cœur de nuit : quelle efficacité pour la biodiversité ?

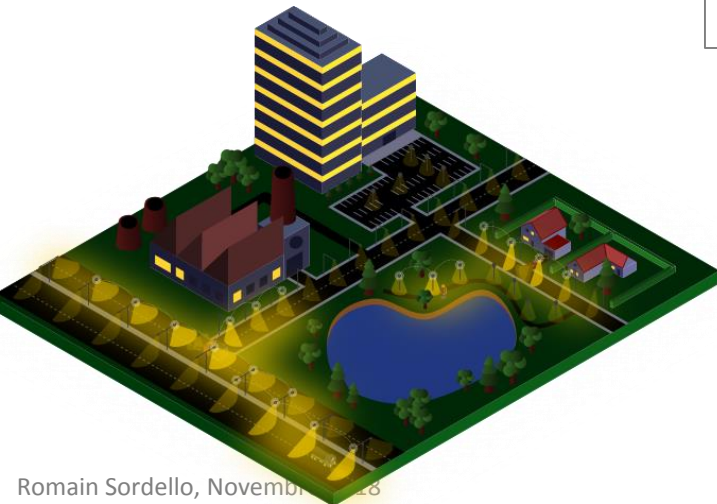
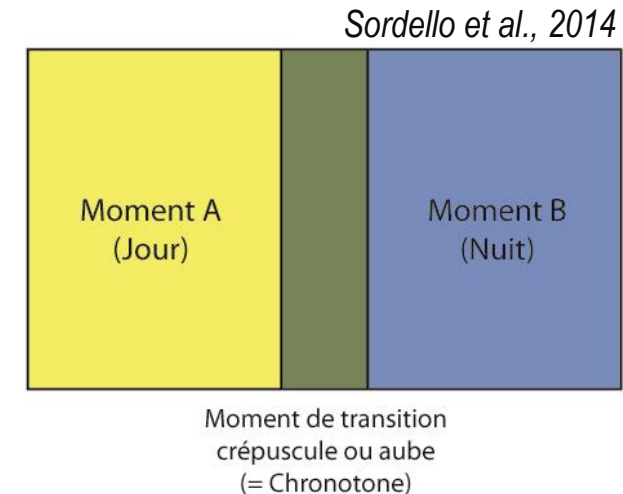
=> Évaluée uniquement chez les chauves-souris (deux études)

=> **Bénéfices limités** du fait du caractère crépusculaire de ces espèces (Azam *et al.*, 2015)

Activité bimodale très répandue chez les espèces nocturnes (rapaces, insectes, chiroptères, mammifères terrestres, ....)



Ager *et al.*, 2003

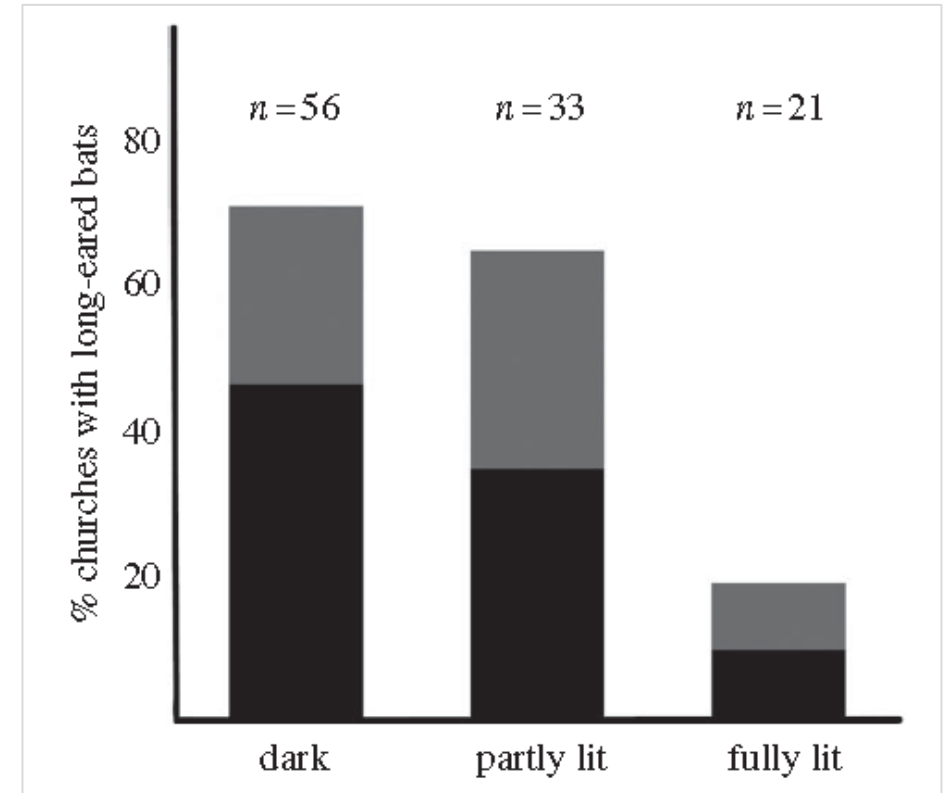


**Pilotage « intelligent »** de l'éclairage toute la nuit (via détecteurs, minuteries). => Perspectives intéressantes grâce aux LED

# Axe spatial : gestion différenciée de l'éclairage

- **Graduation de l'éclairage** (ex : densité de points lumineux) voire absence totale d'éclairage en fonction des espaces
- Vigilance sur certains sites (ex : bâti patrimonial)
- Certains milieux très sensibles (ex : eau)
- Importance des revêtements (réflexion)

Rydell et al., 2018



Sur 110 églises. Gris : colonies enregistrées. Noir : colonies observées





# Un besoin d'indicateurs

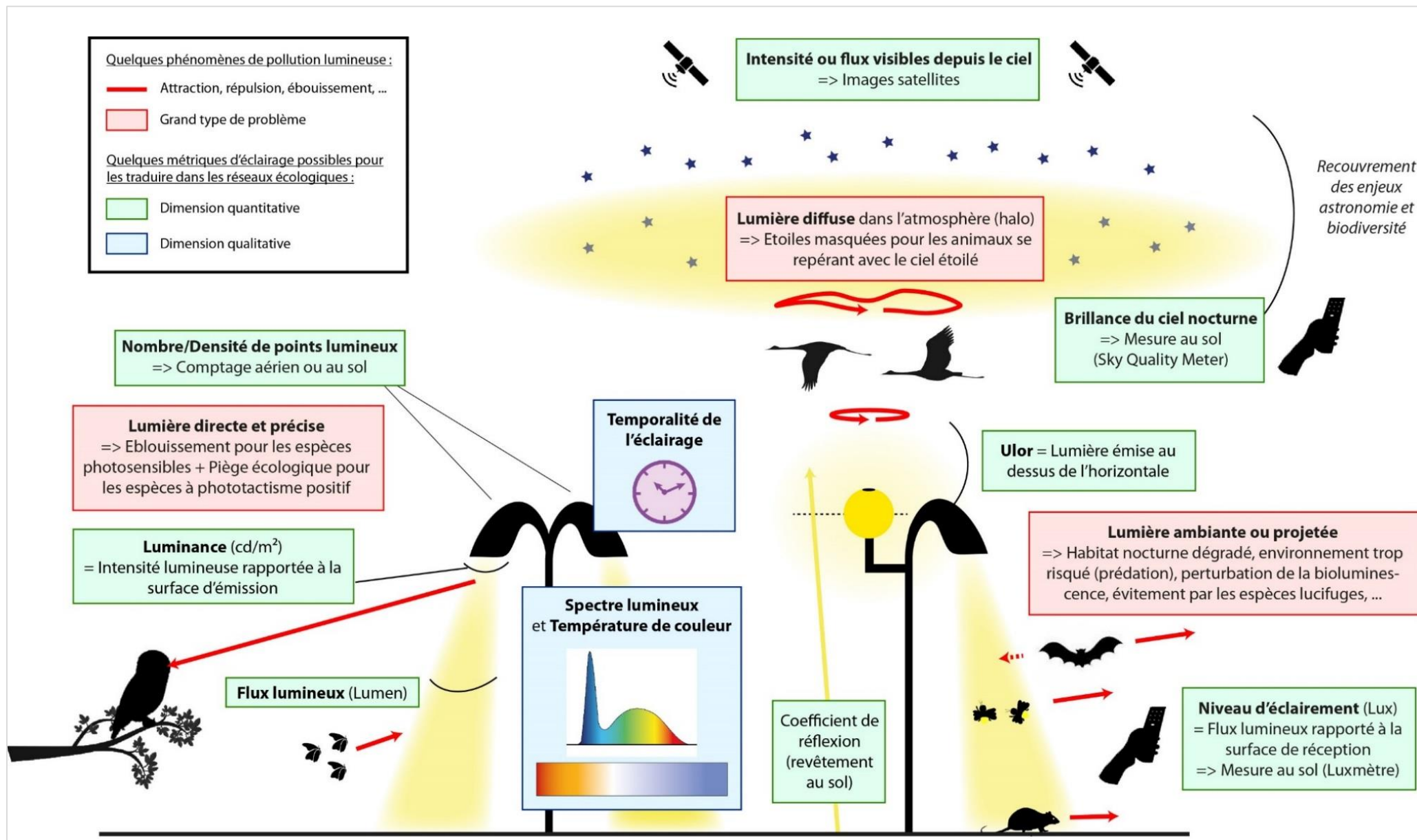
- **Pression** : Quel est le niveau de pollution lumineuse (quantité, qualité, ...) ?
- **Etat** : Comment les espèces sensibles à l'éclairage réagissent-elles ?
- **Réponses** : Quelles mesures sont mises en œuvre par la société ?

**UMS PATRIMOINE NATUREL**  
AFB • CNRS • MHN

**Construire des indicateurs nationaux sur la pollution lumineuse**  
*Réflexion préliminaire*

Romain SORDELLO, Clémentine AZAM, Jennifer AMSALLEM, Yves BAS, Lucile BILLON, Samuel BUSSON, Sumed CHALLEAT, Christian KERBRIOU, Isabelle LE VIGO, Bastien NGUYEN-DUY • BARDAKJI, Sébastien VAUCLAIR, Paul VERNY

Avril 2018 - N°2018-197



**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

