



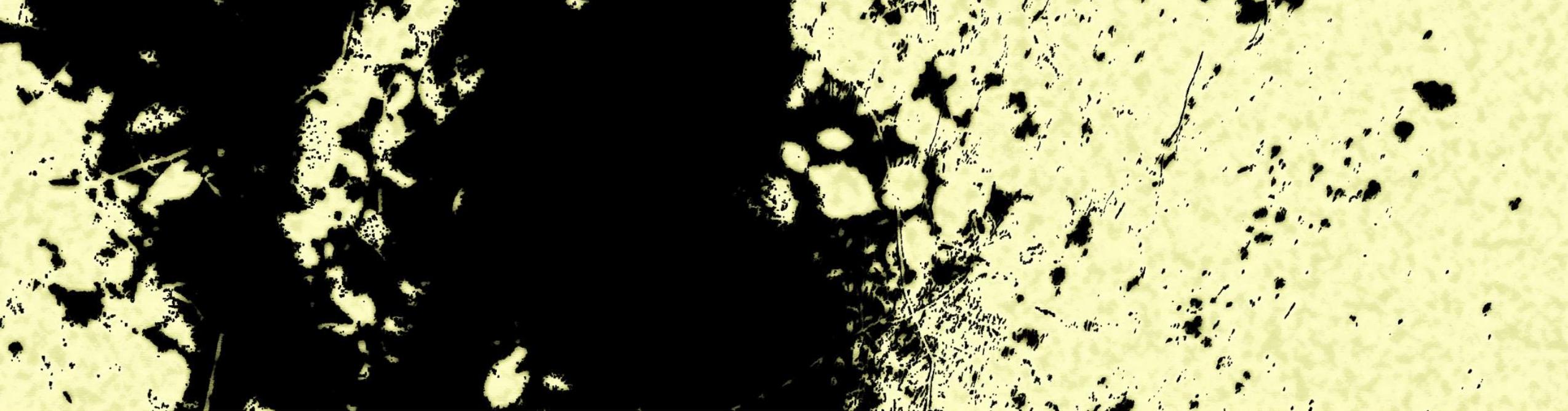
POLLUTION LUMINEUSE ET BIODIVERSITÉ : DES ENJEUX SCIENTIFIQUES À LA TRAME NOIRE

Aix-en-Provence - 20/12/2018

Romain Sordello

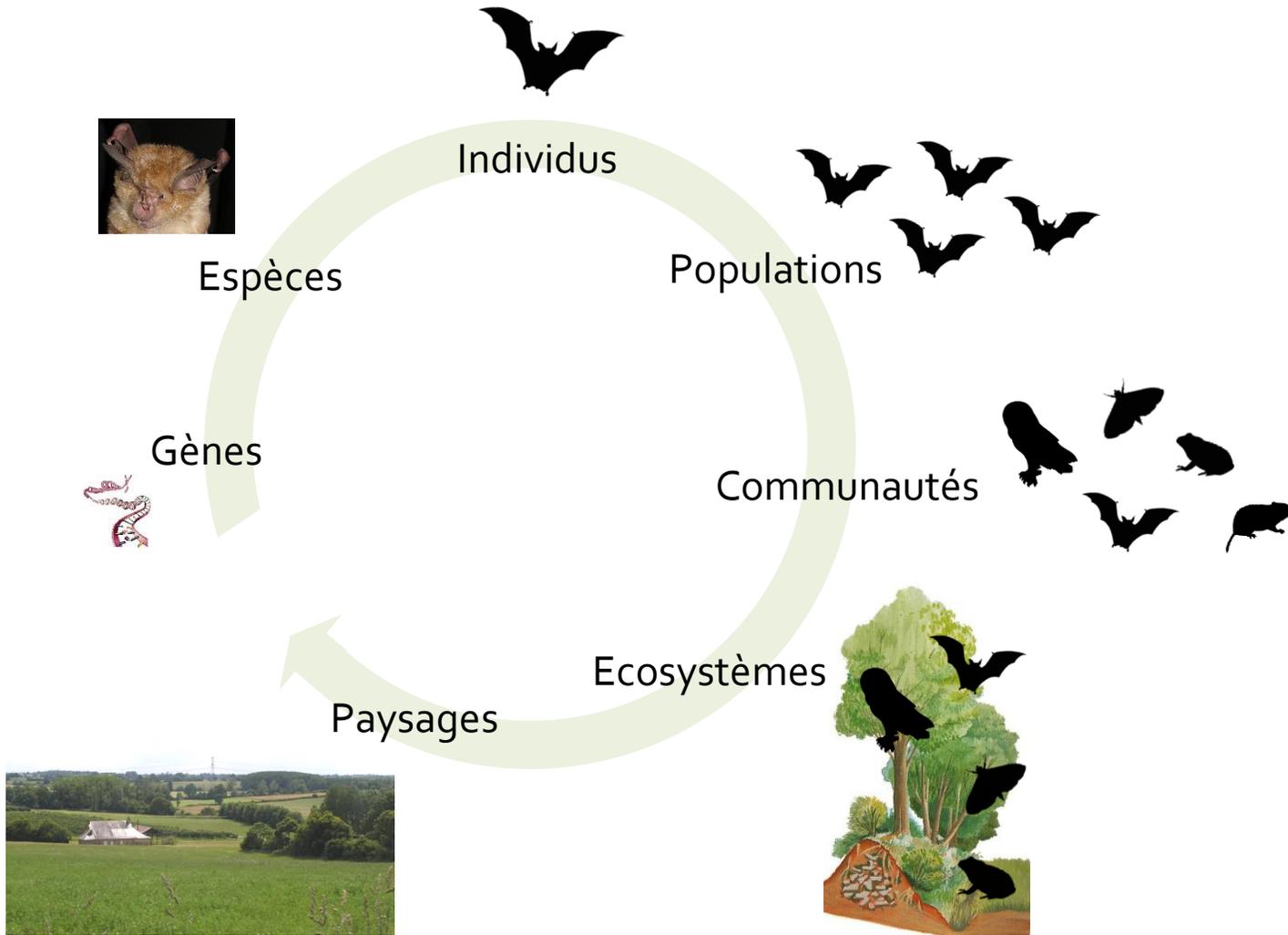
Chef de projet
Pollution lumineuse
& Trame verte et bleue



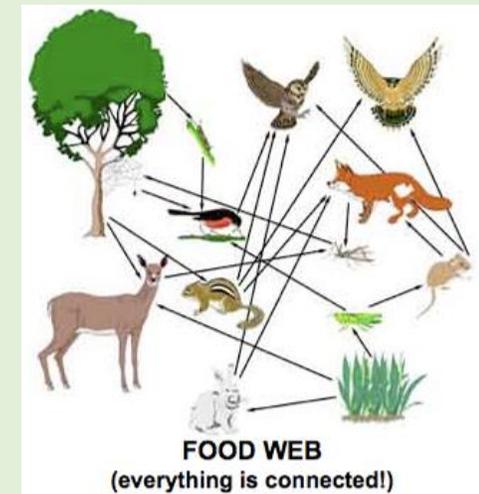
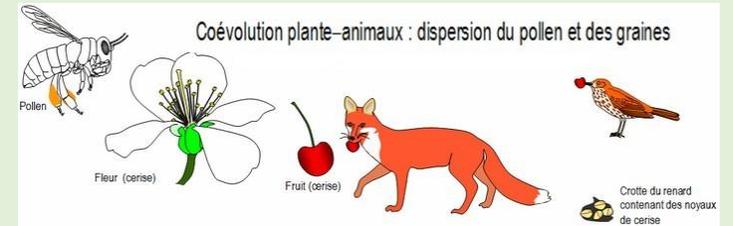


LA BIODIVERSITÉ NOCTURNE

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



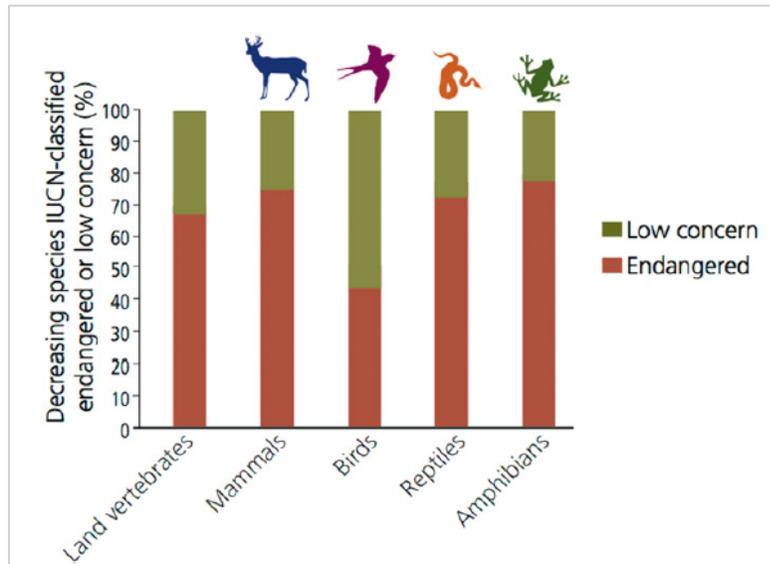
Composition, répartition et fonctionnement



Erosion massive de la biodiversité

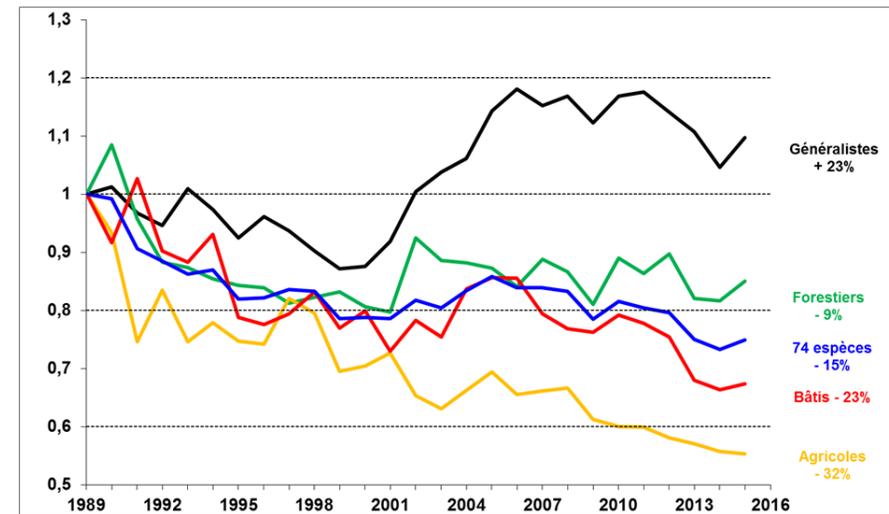
Disparition d'espèces mais surtout :

- 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^{ème} 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

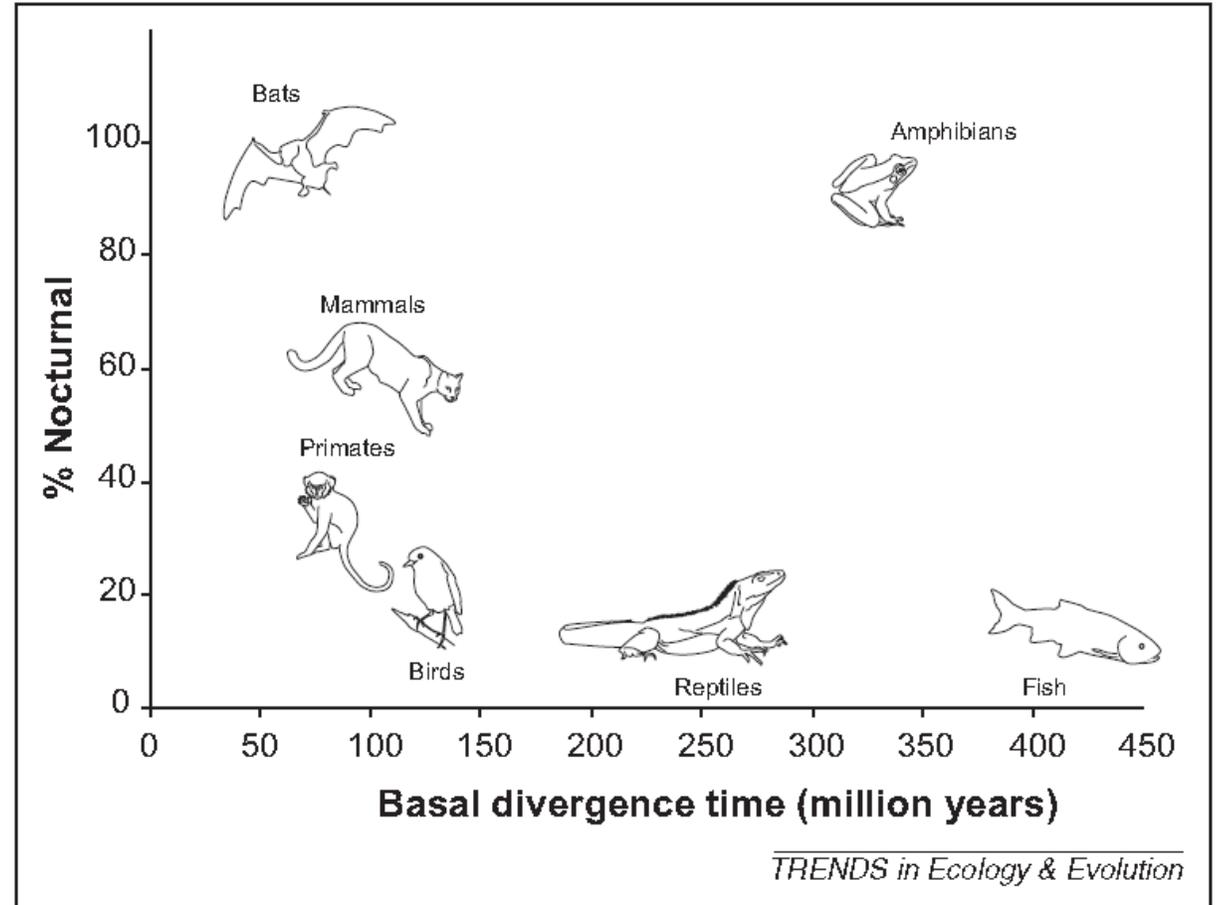
WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, MAURO GALETTI, MOHAMMED ALAMGIR, EILEEN CRIST, MAHMOUD I. MAHMOUD, WILLIAM F. LAURANCE, and 15,364 scientist signatories from 184 countries

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



Pieuvre, *Stauroteuthis syrtensis*

Luciole
Luciola lusitanica



Ex : Oliveira et al. 2015

...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

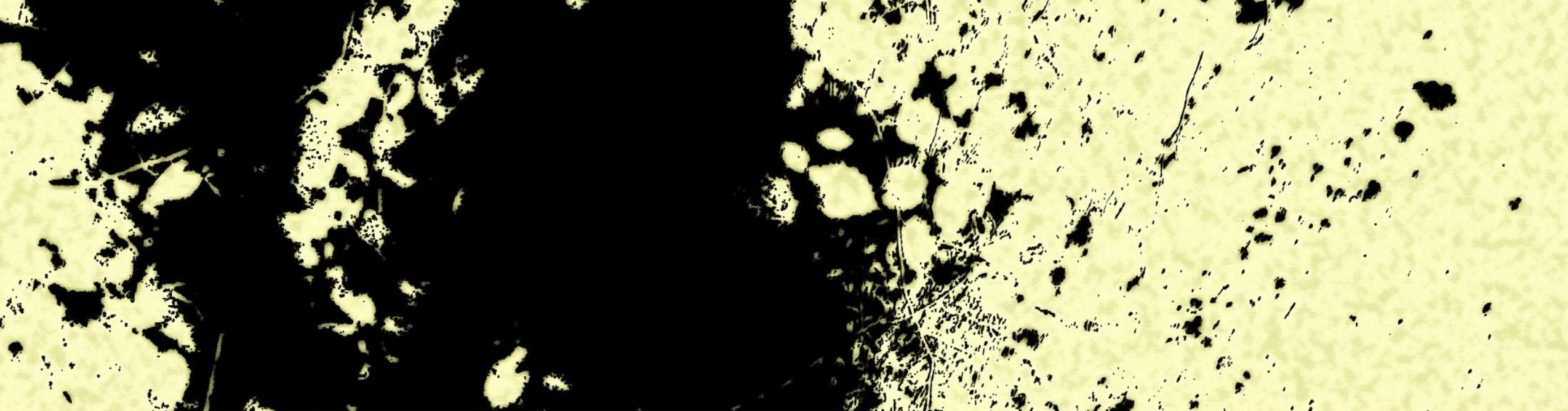


Source : http://etoiledelune.pagesperso-orange.fr/divers/phase_lune.jpg

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



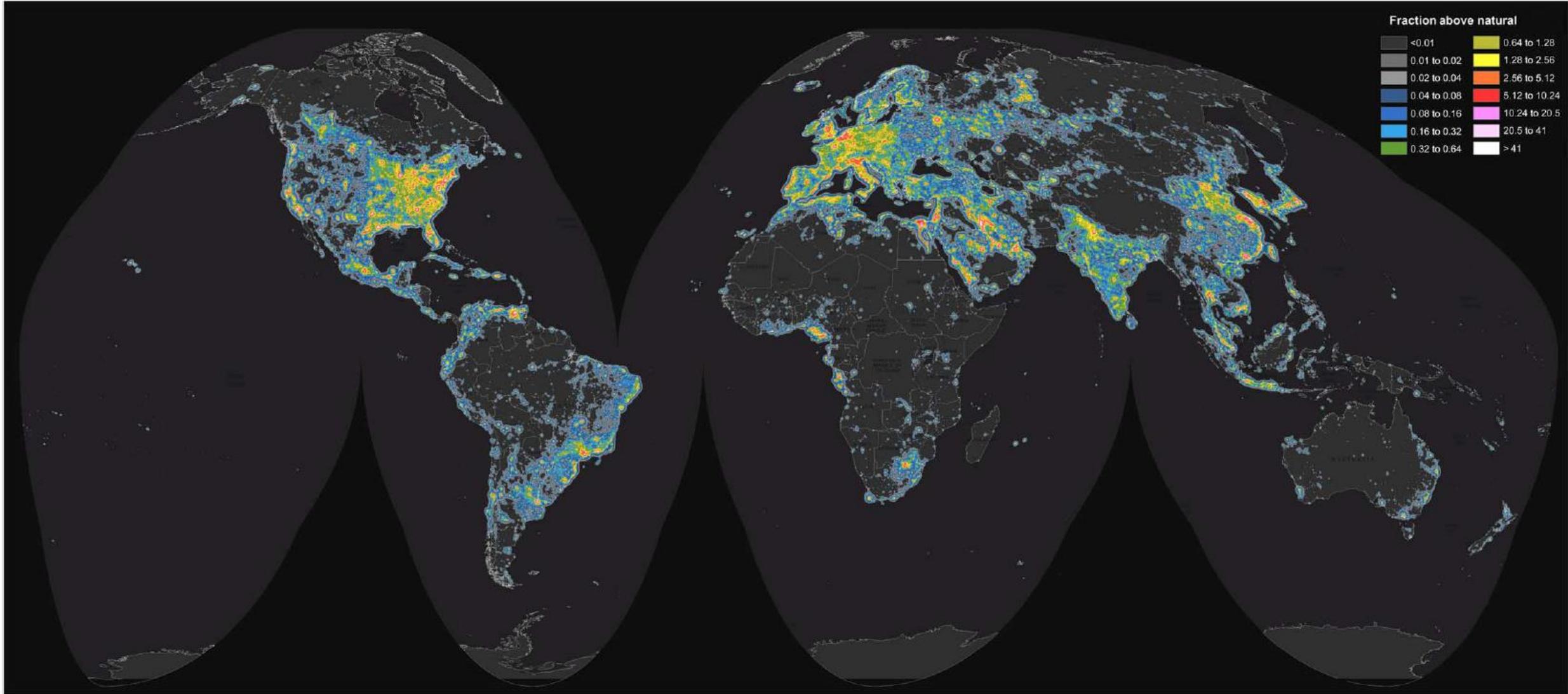
Chantiers

Bureaux, lasers, ...



Eclairage de rue

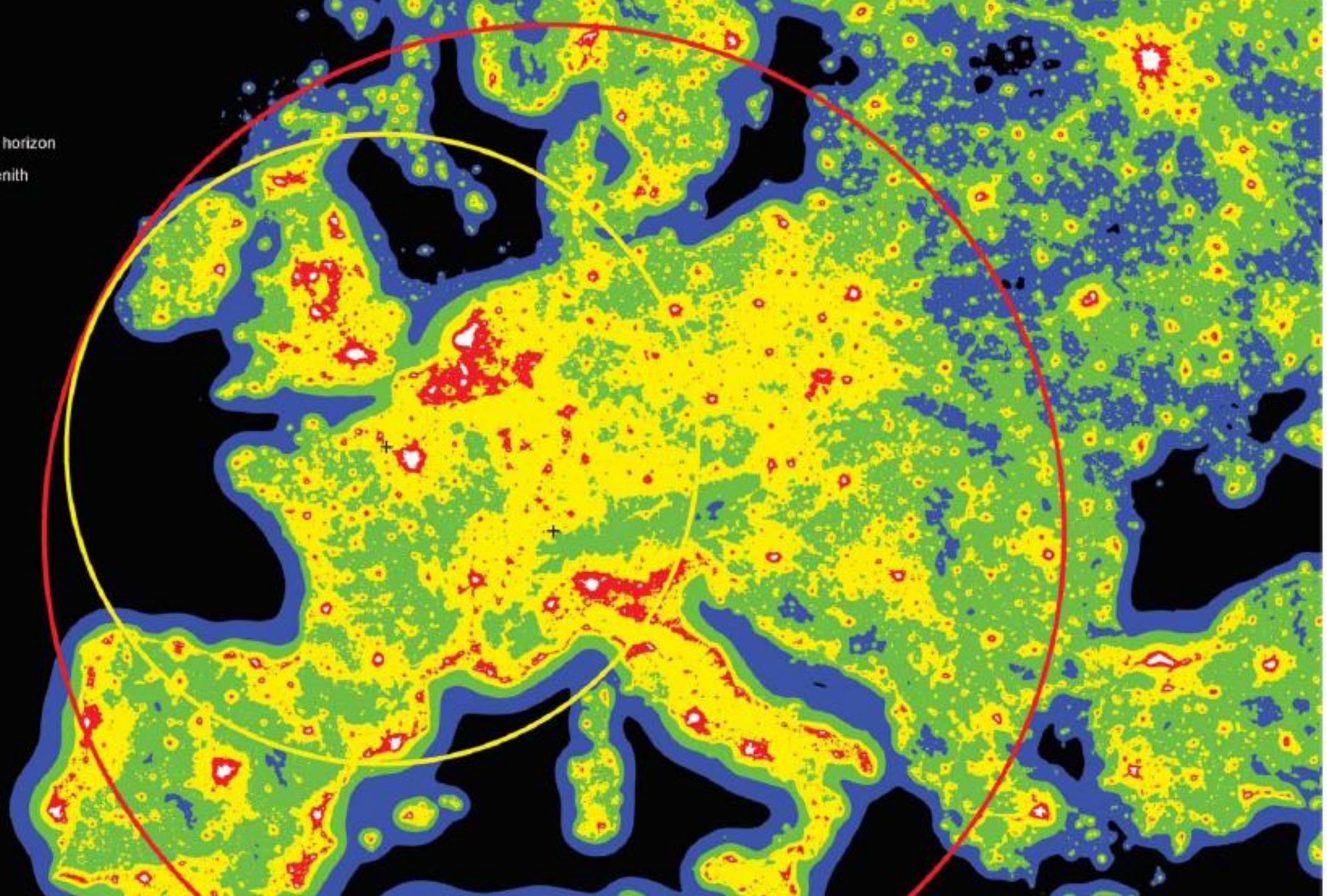
Un phénomène planétaire



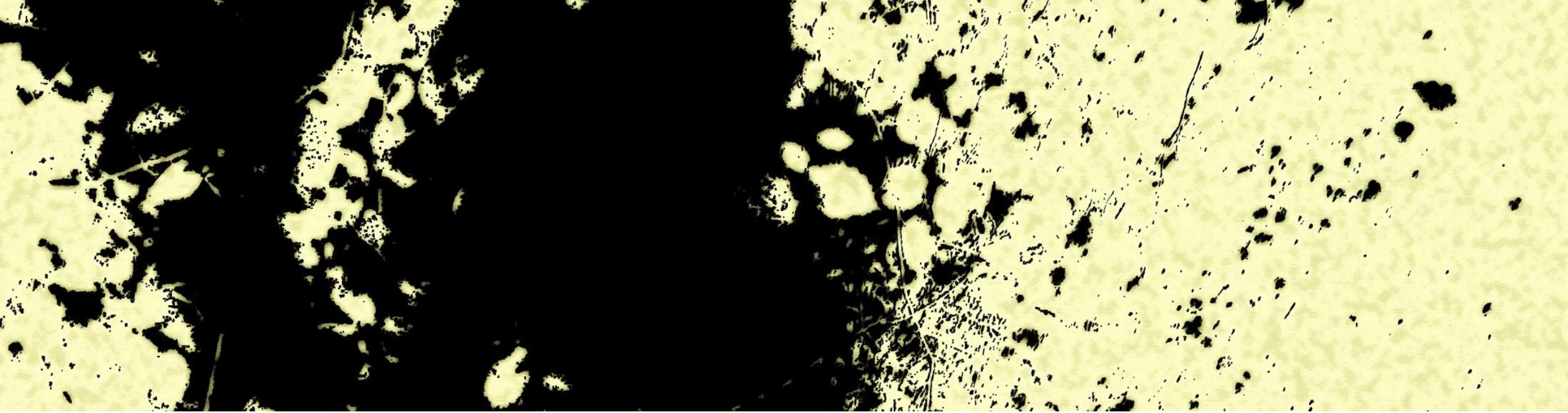
Falchi et al., 2016

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

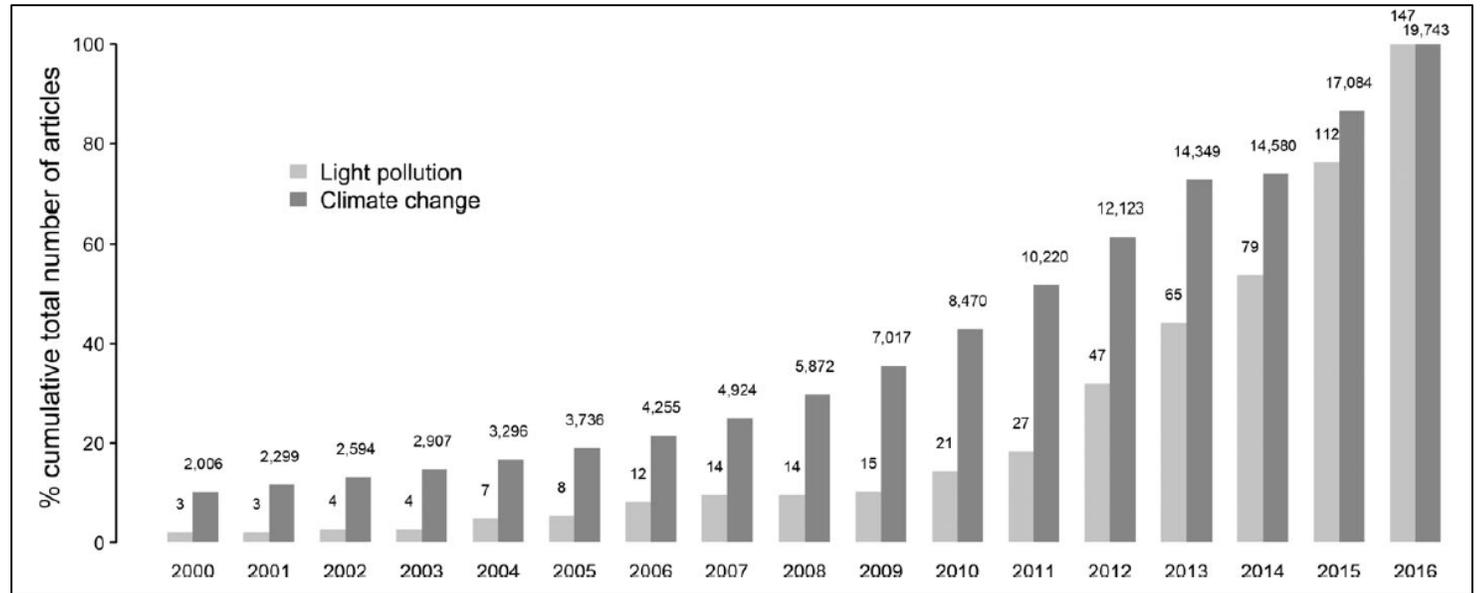
Premiers constats naturalistes (arbres en ville, collisions d'oiseaux)

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

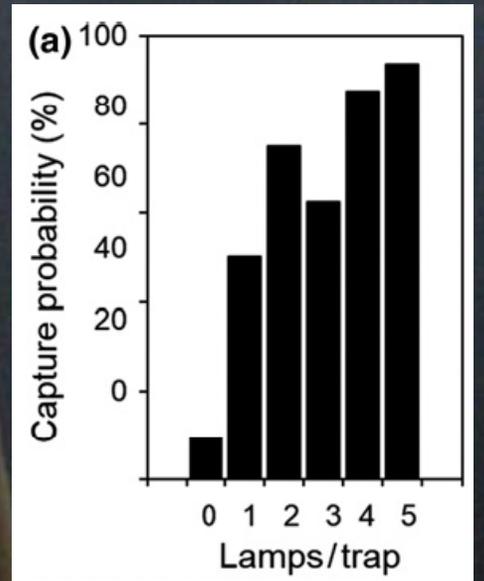
Attraction, désorientation, collisions

=> *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

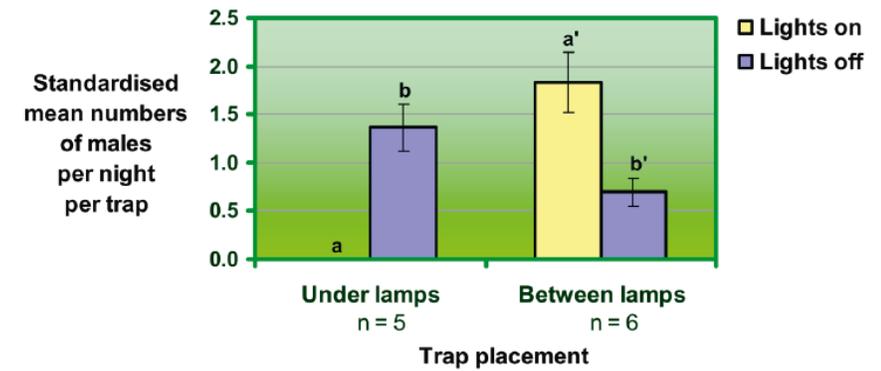


Figure 3 Standardised mean numbers (\pm S.E.) of *L. noctiluca* males captured per night per trap under and between street lamps when lamps were switched on or switched off. Means with the same letter within trap placement categories were not significantly different (paired t-test, $P \leq 0.005$).

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, ...



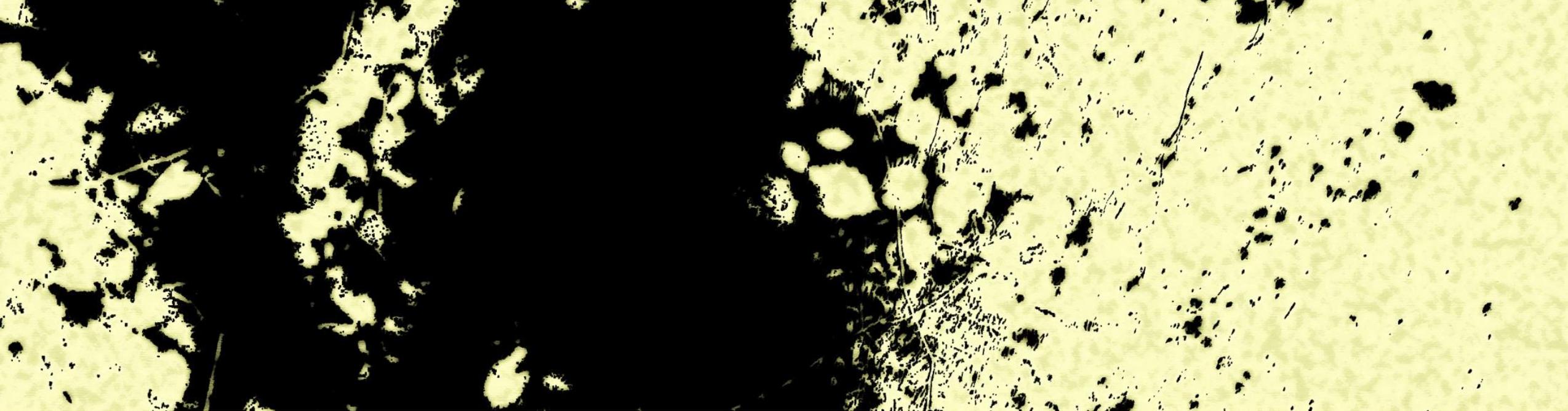
=> Désynchronisation, baisse de l'activité, stress, vieillissement, ...

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

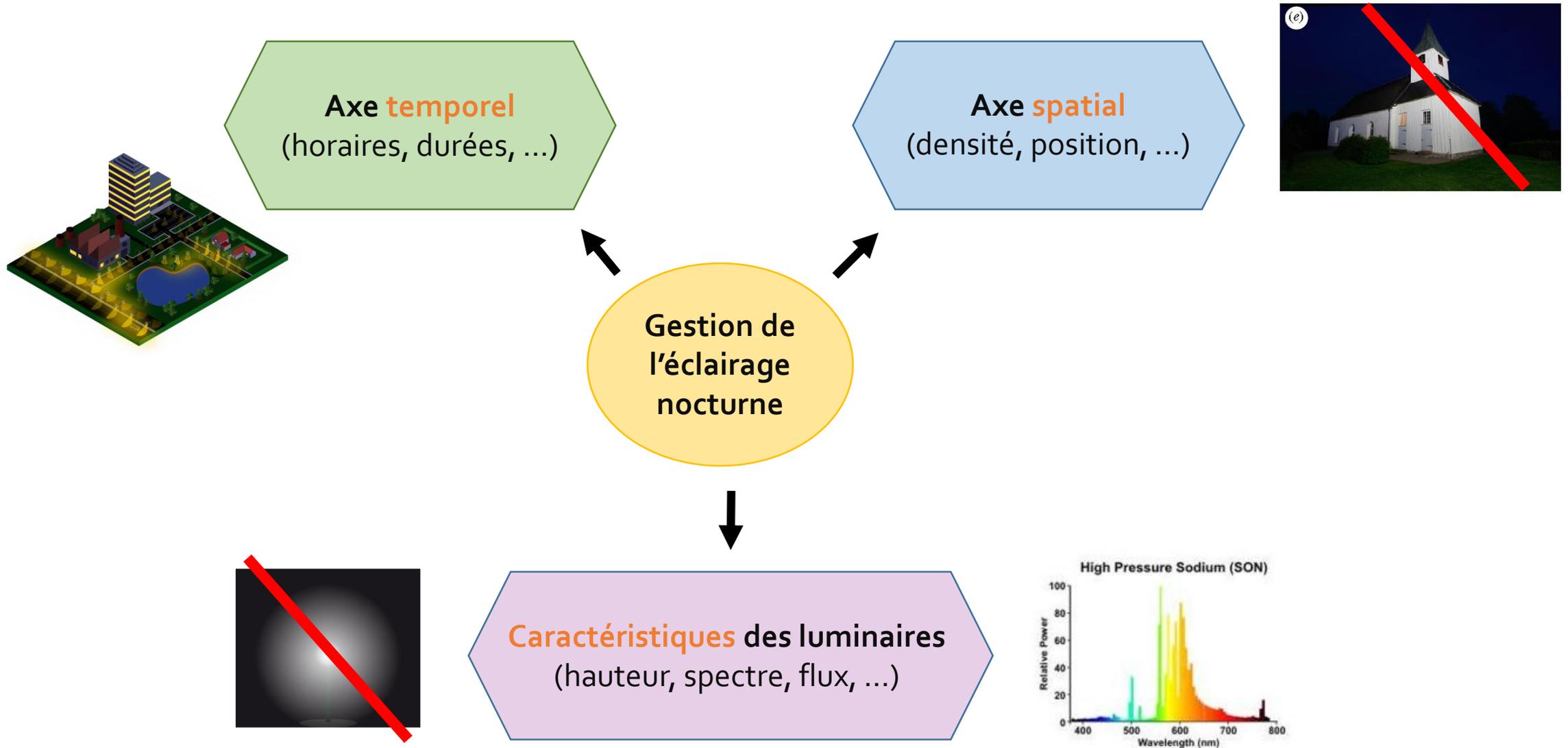
Bonne nouvelle : la pollution lumineuse est **réversible**
(contrairement à d'autres pollutions)

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

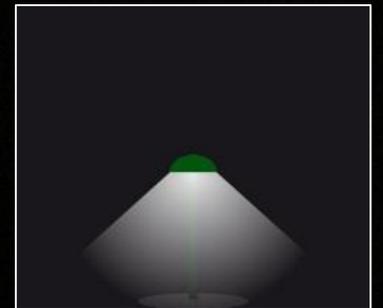
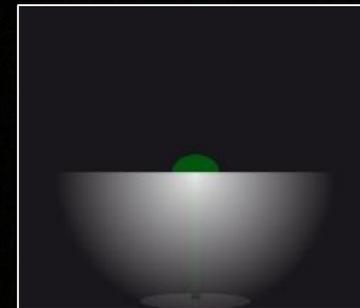
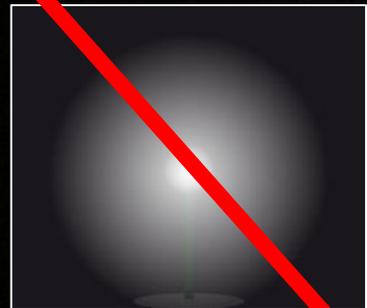
Si le choix d'éclairer est fait (besoin) :

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

Trois axes d'actions possibles



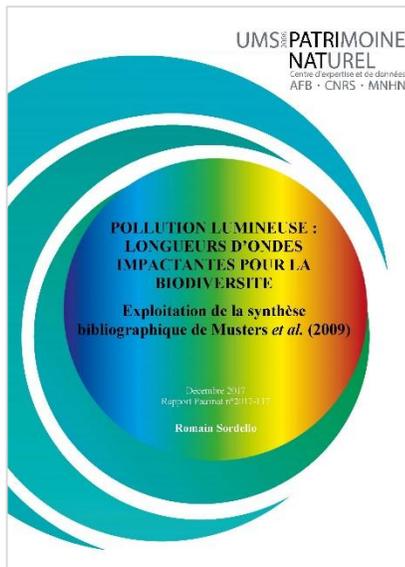
L'orientation des luminaires



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)
Plantes	• Croissance	• Croissance	• Croissance	• Croissance			• Croissance • Horloge circadienne	• Croissance • Horloge circadienne • Horloge circannuelle • Rapports proies/prédateurs
Crustacés				• Phototactisme			• Activité • Phototactisme	
Arachnides		• Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	• Horloge circadienne • Phototactisme	
Insectes	• Phototactisme • Orientation		• Phototactisme • Orientation	• Phototactisme	• Phototactisme		• Phototactisme	
Amphibiens	• Activité	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Horloge circadienne • Orientation • Phototactisme	• Orientation • Phototactisme	• Orientation • Phototactisme	• Phototactisme	
Oiseaux	• Régulation hormonale • Orientation	• Orientation	• Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Orientation	• Orientation	• Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation	• Croissance
Poissons			• Régulation hormonale • Croissance • Phototactisme	• Croissance • Phototactisme	• Phototactisme		• Phototactisme	
Mammifères (hors chauves-souris)	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Régulation hormonale • Horloge circadienne		• Horloge circadienne • Activité • Phototactisme	• Horloge circadienne • Activité • Phototactisme	• Horloge circadienne • Activité	• Horloge circadienne
Chiroptères		• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Activité	• Horloge circadienne	
Reptiles		• 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
--	-----------------	--	-------------------	--	-------------------	--	-------------------

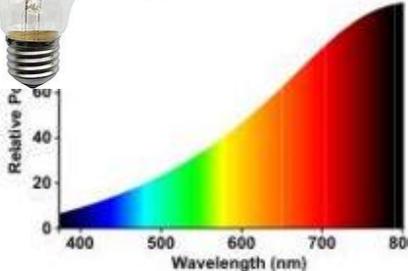
Plusieurs sources lumineuses avec chacune leur spectre

LAMPES A INCANDESCENCE

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



Tungsten Incandescent



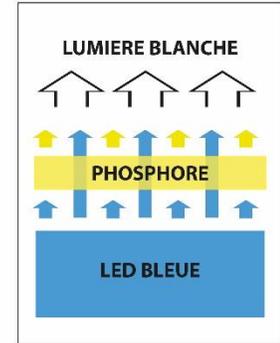
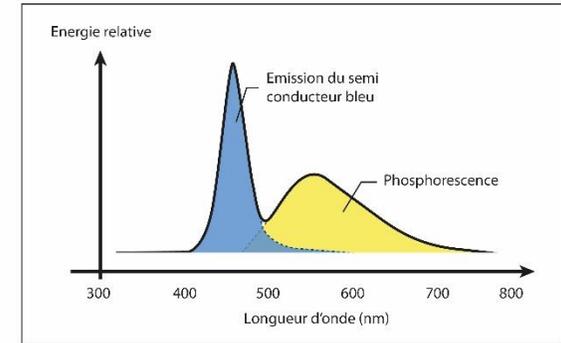
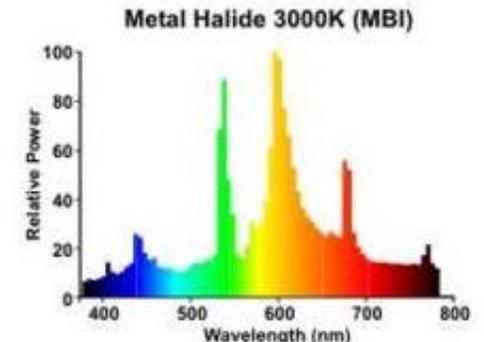
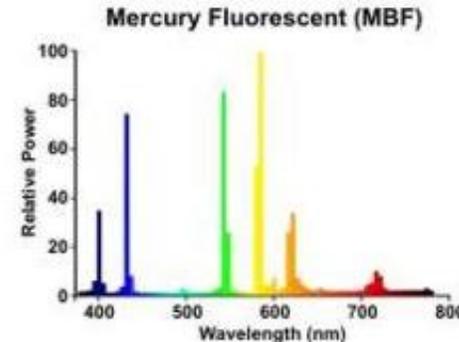
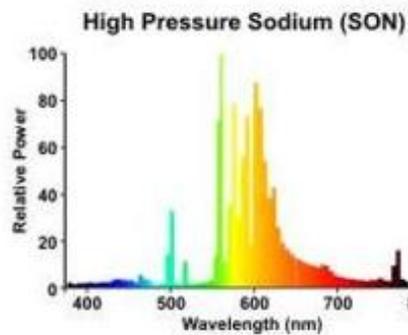
LAMPES A DÉCHARGE

Une décharge électrique est envoyée dans un tube rempli de gaz



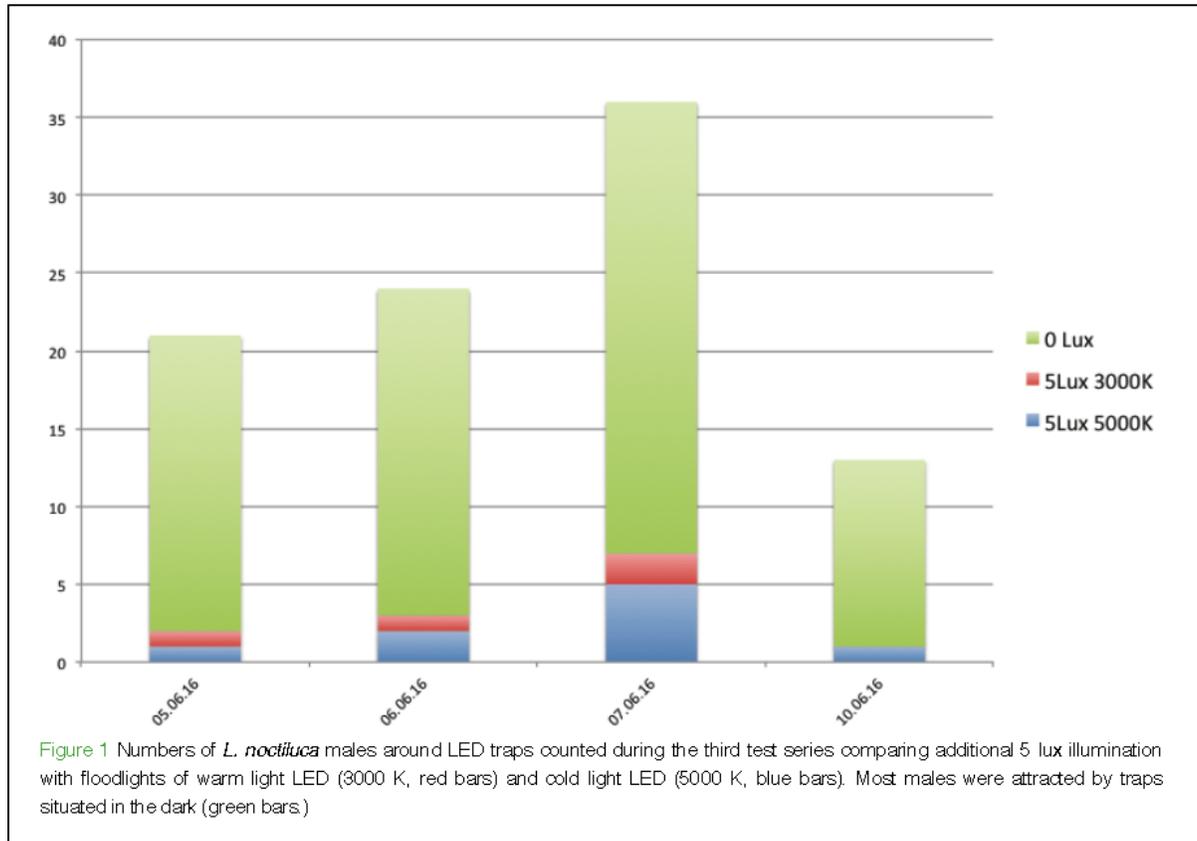

SEMI-CONDUCTEURS
LED, OLED

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)

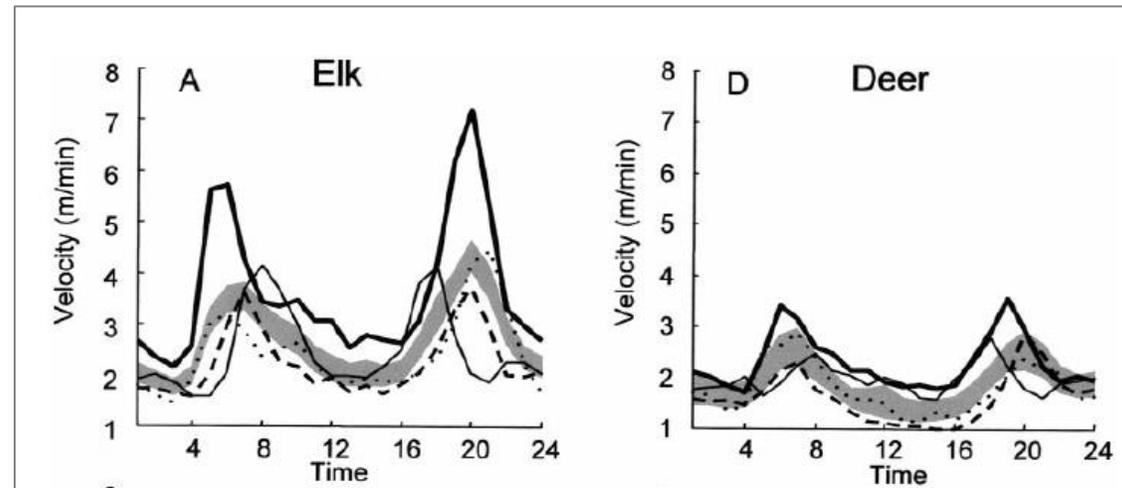
La temporalité de l'éclairage

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

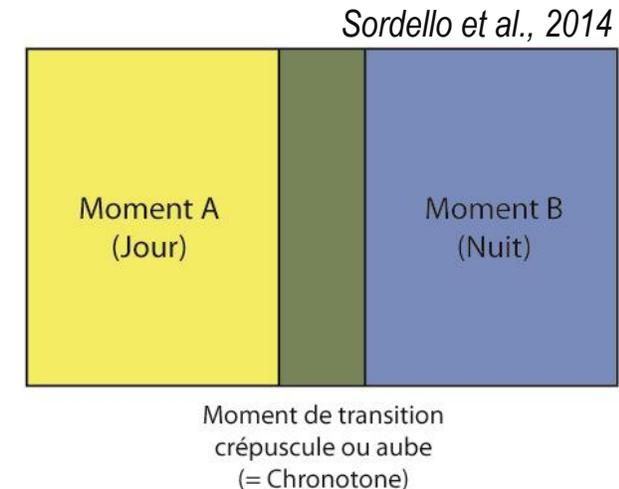
=> Évaluée uniquement chez les chauves-souris (deux études)

=> **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

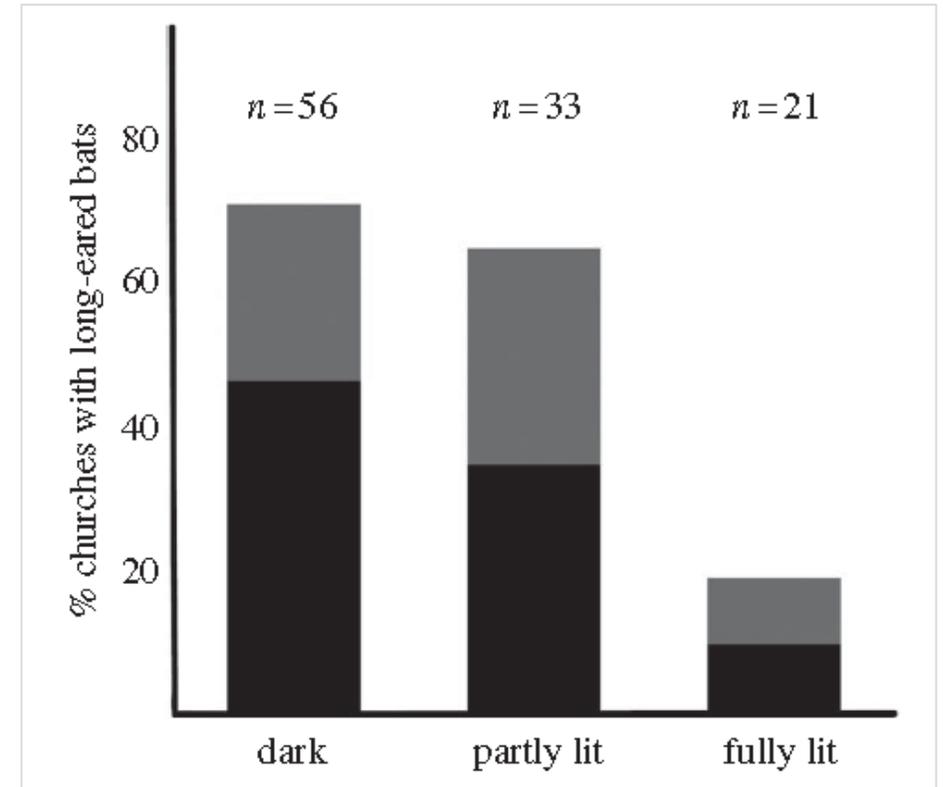


Pilotage « intelligent » de l'éclairage toute la nuit (via détecteurs, minuteries). => Perspectives intéressantes grâce aux LED

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

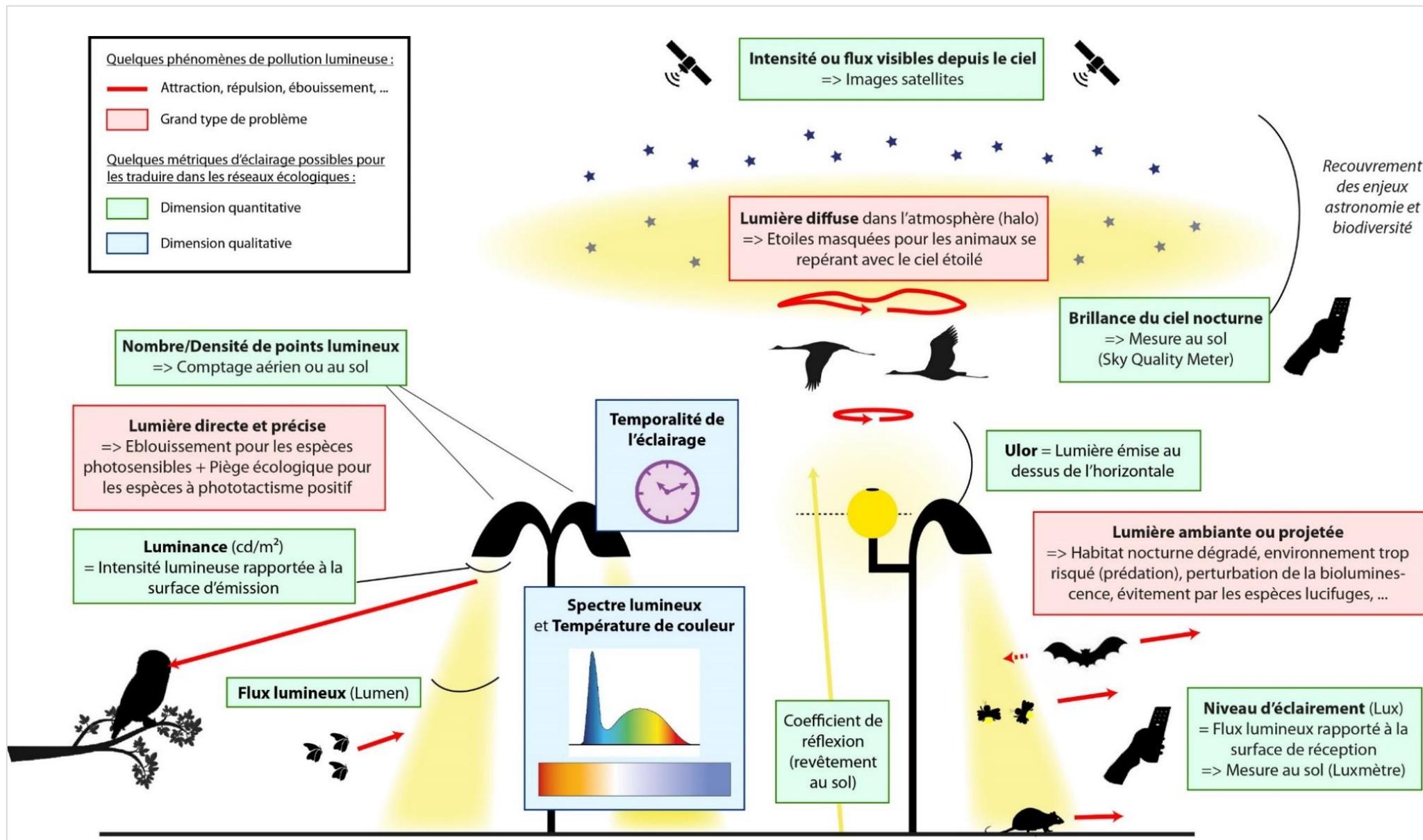
- **Pression** : Quel est le niveau de pollution lumineuse (quantité, qualité, ...) ?
- **Etat** : Comment les espèces sensibles à l'éclairage réagissent-elles ?
- **Réponses** : Quelles mesures sont mises en œuvre par la société ?



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