



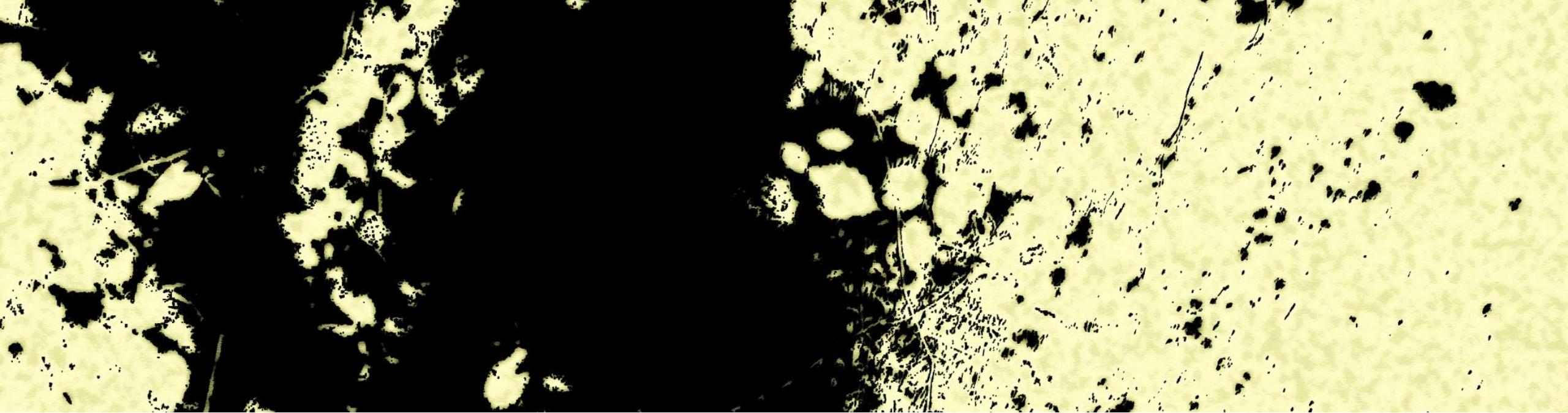
POLLUTION LUMINEUSE ET BIODIVERSITÉ : DES ENJEUX SCIENTIFIQUES À LA TRAME NOIRE

Prouvy-Rouvignies - 23/11/2018

Romain Sordello

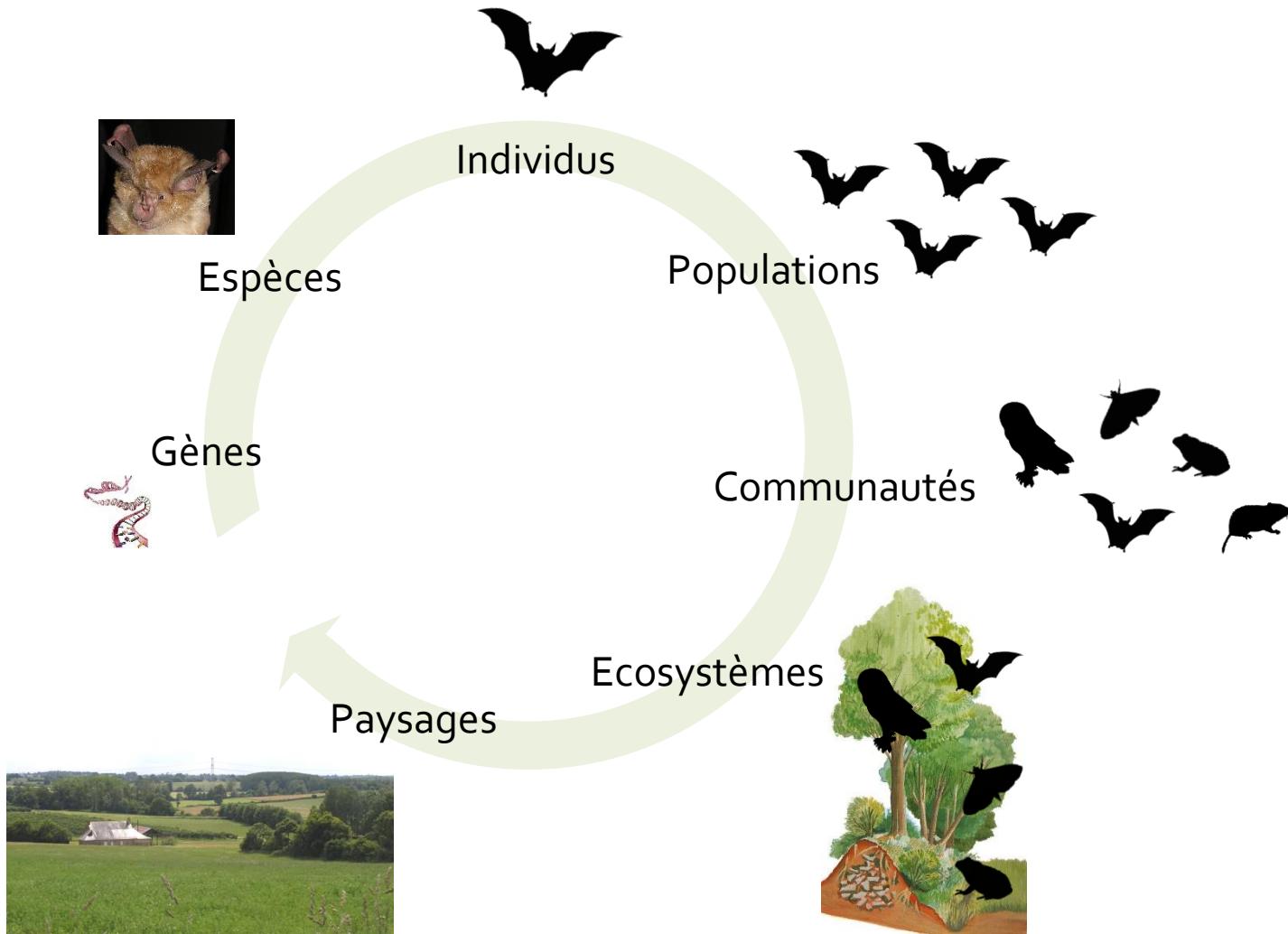
Chef de projet
Pollution lumineuse
& Trame verte et bleue



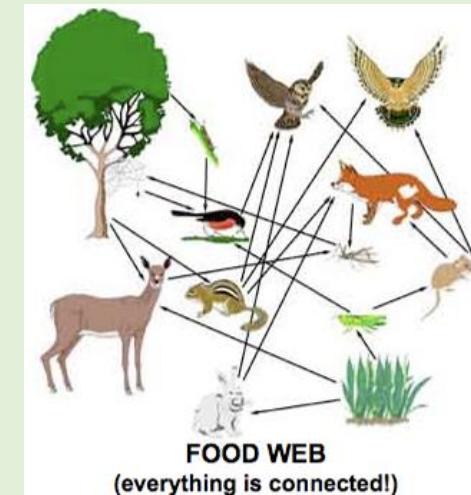
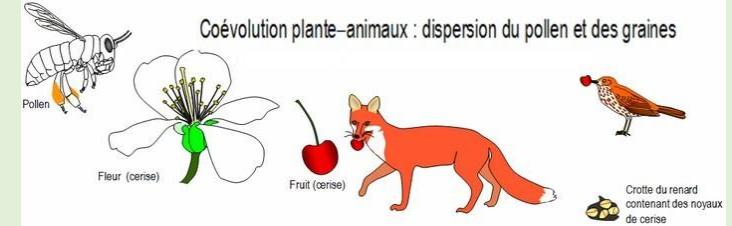


LA BIODIVERSITÉ NOCTURNE

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 :

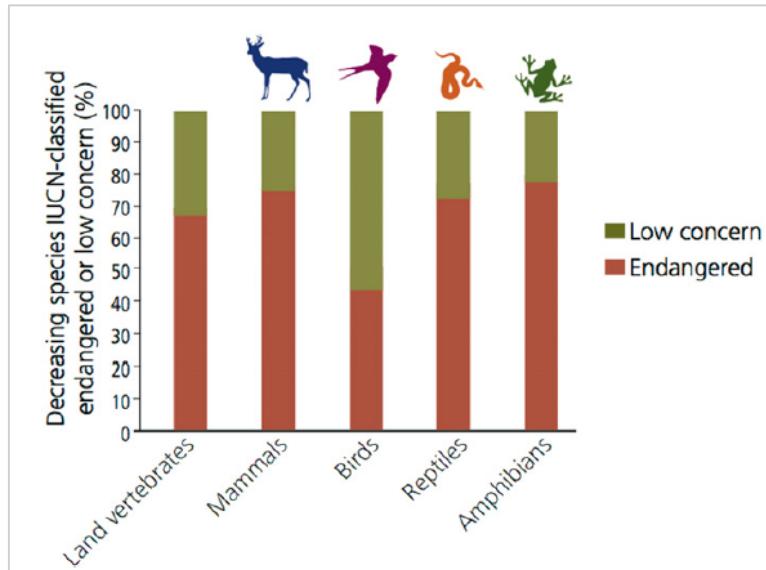
- Diminution des aires de répartition :

>80% pour 40 % des vertébrés dans le monde
(Ceballos et al. 2017)

- Baisse drastique des effectifs :

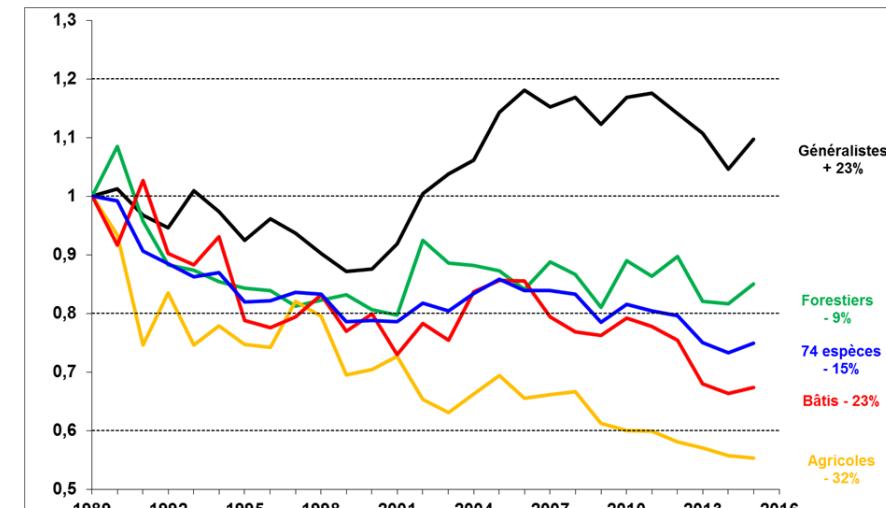
80% des insectes disparus en Europe en 30 ans
(Hallman et al. 2017)

- 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)

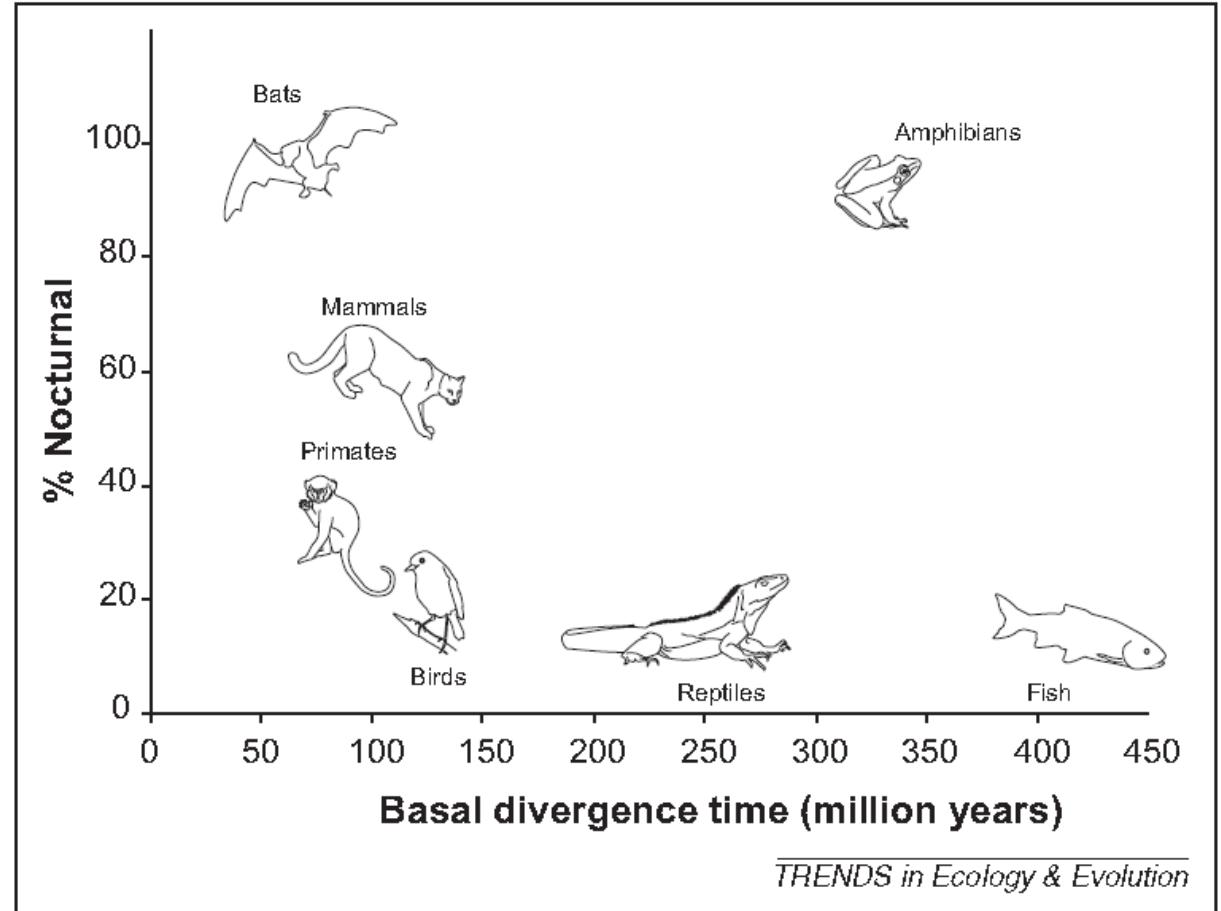
World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice

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, *Lampyris 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

Photo Olivier Ravayrol

L'influence des variations lunaires

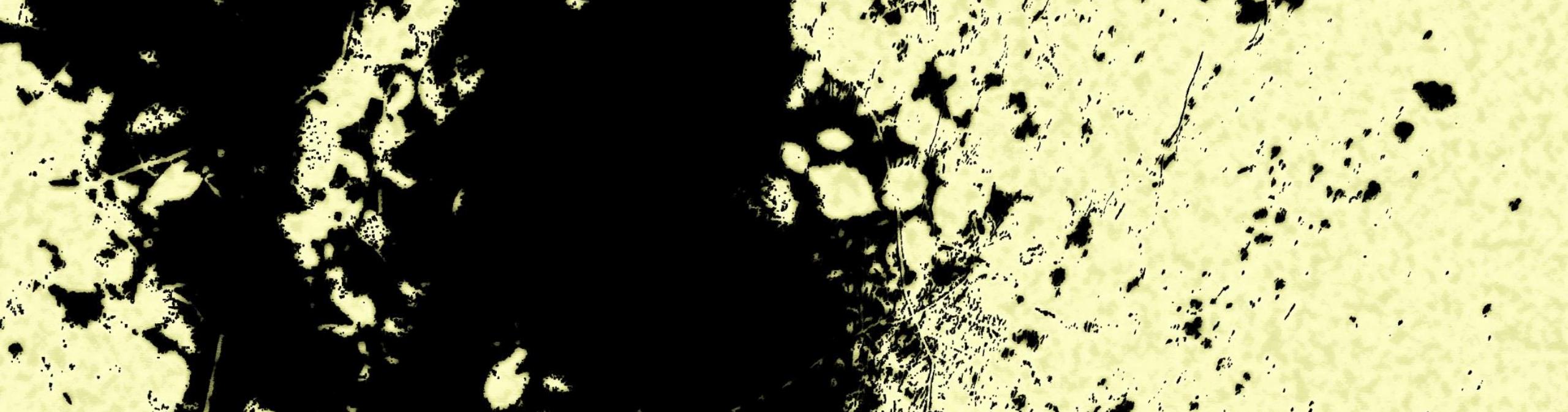


Source : http://etoiledelune.pagesperso-orange.fr/divers/phase_lune.jpg

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, ...)



Structures sportives

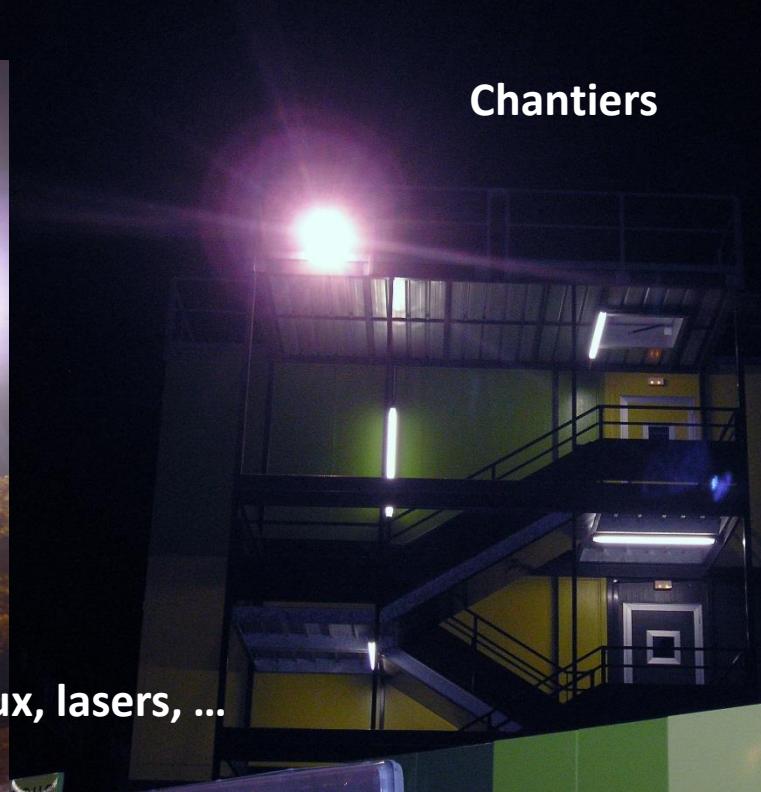


Bureaux, lasers, ...



Enseignes lumineuses

Chantiers

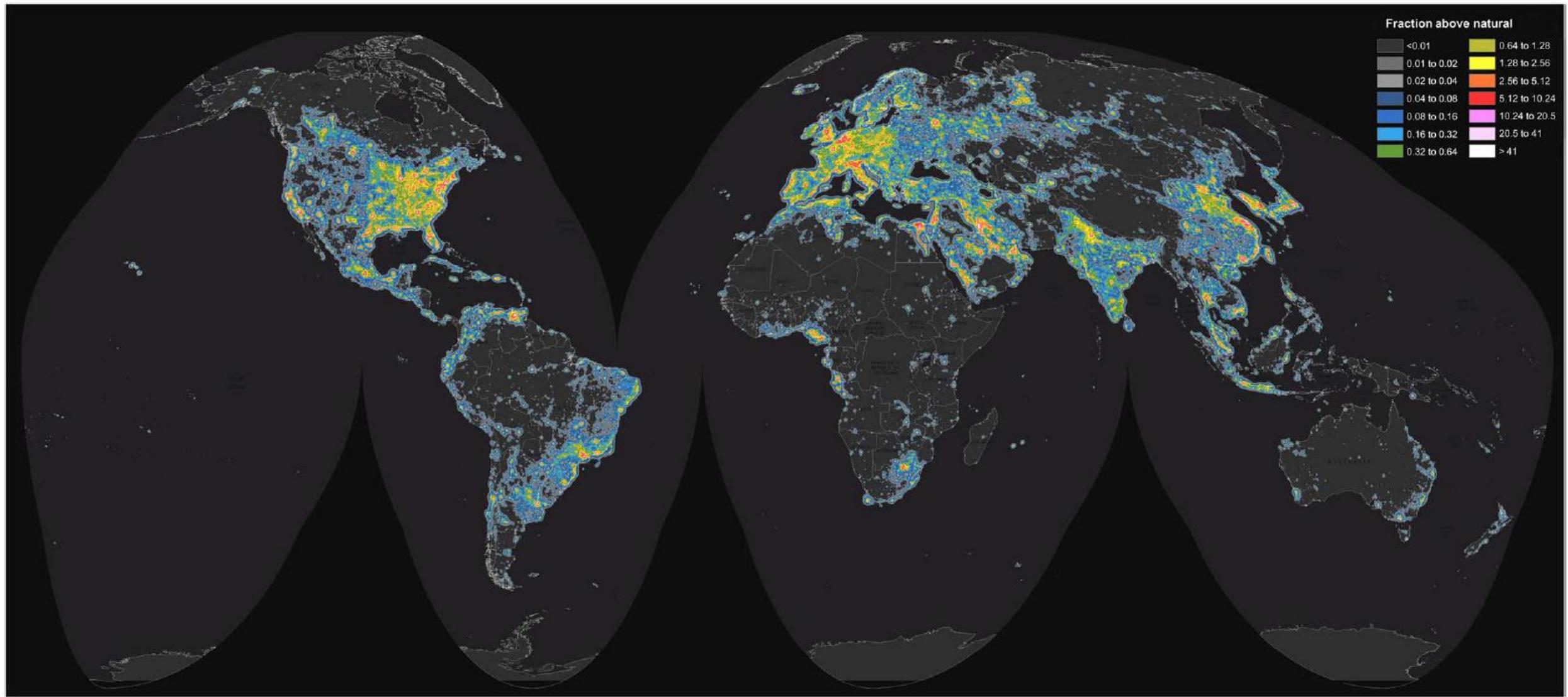


Eclairage de rue



Monuments

Un phénomène planétaire



Falchi et al., 2016

Visual impacts

Pristine sky

Degraded near the horizon

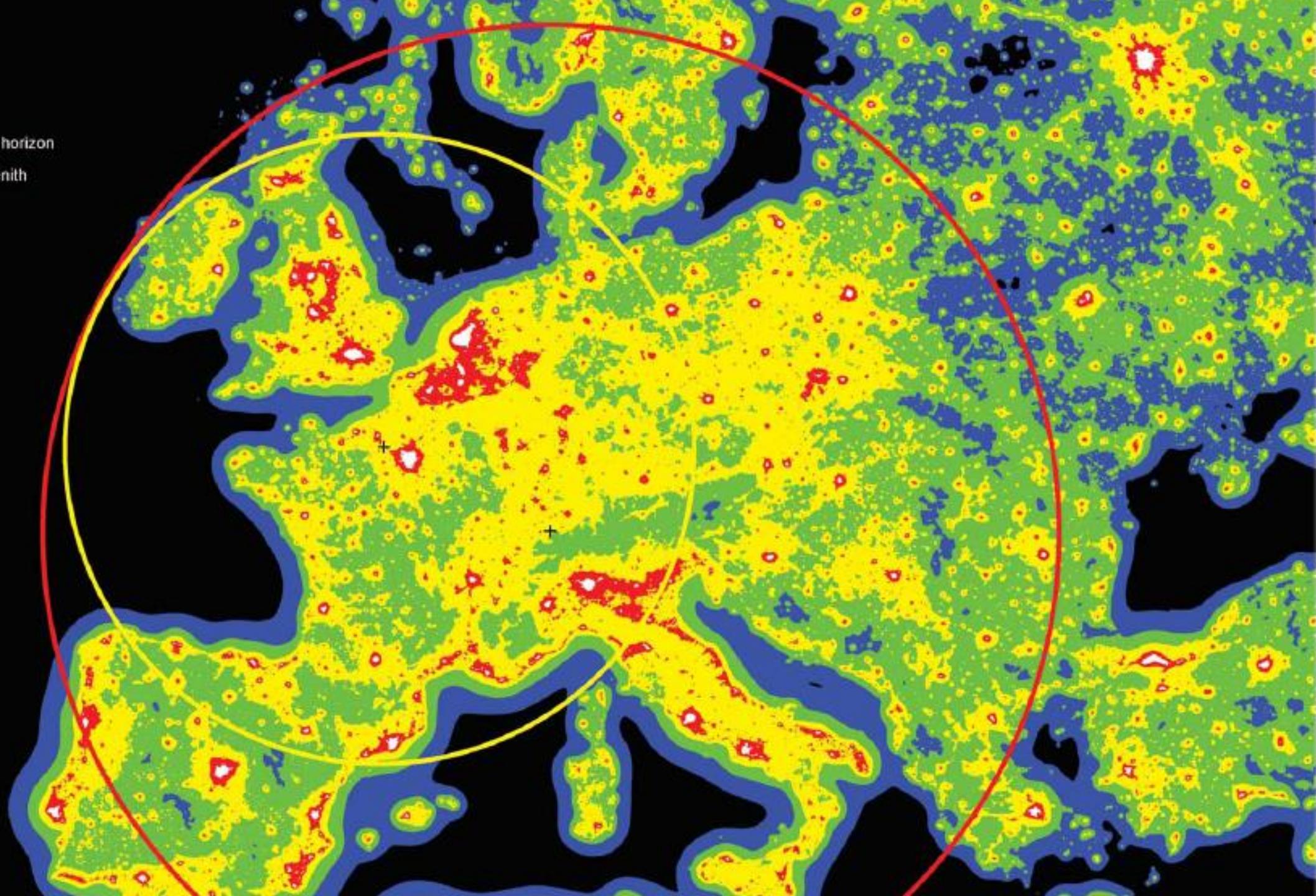
Degraded to the zenith

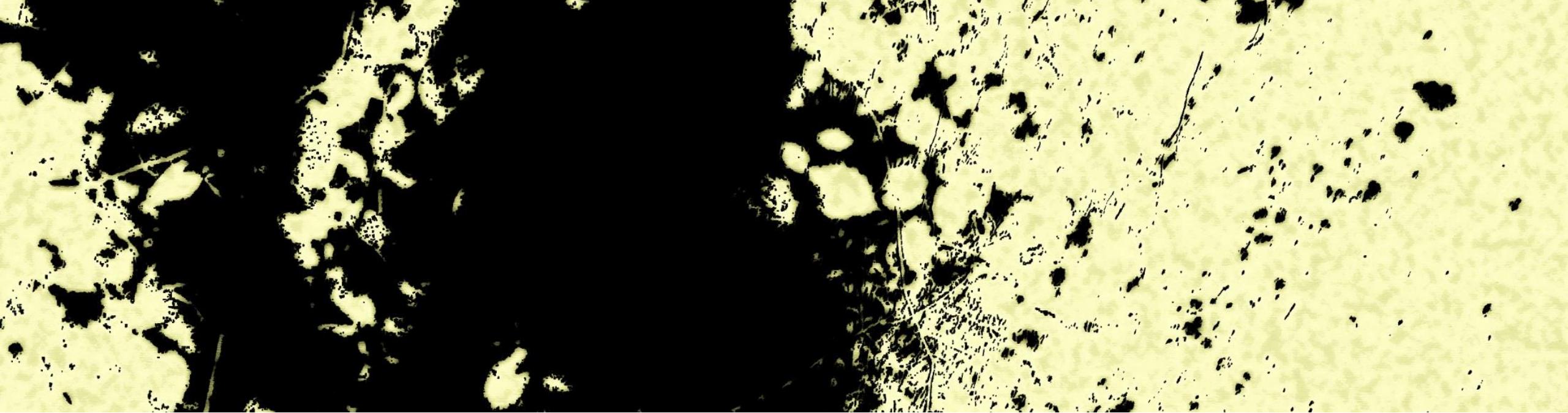
Natural sky lost

Milky Way lost

Cones active

Falchi et al.,
2016





EFFETS SUR LA BIODIVERSITÉ

Des publications croissantes depuis plus d'un siècle

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

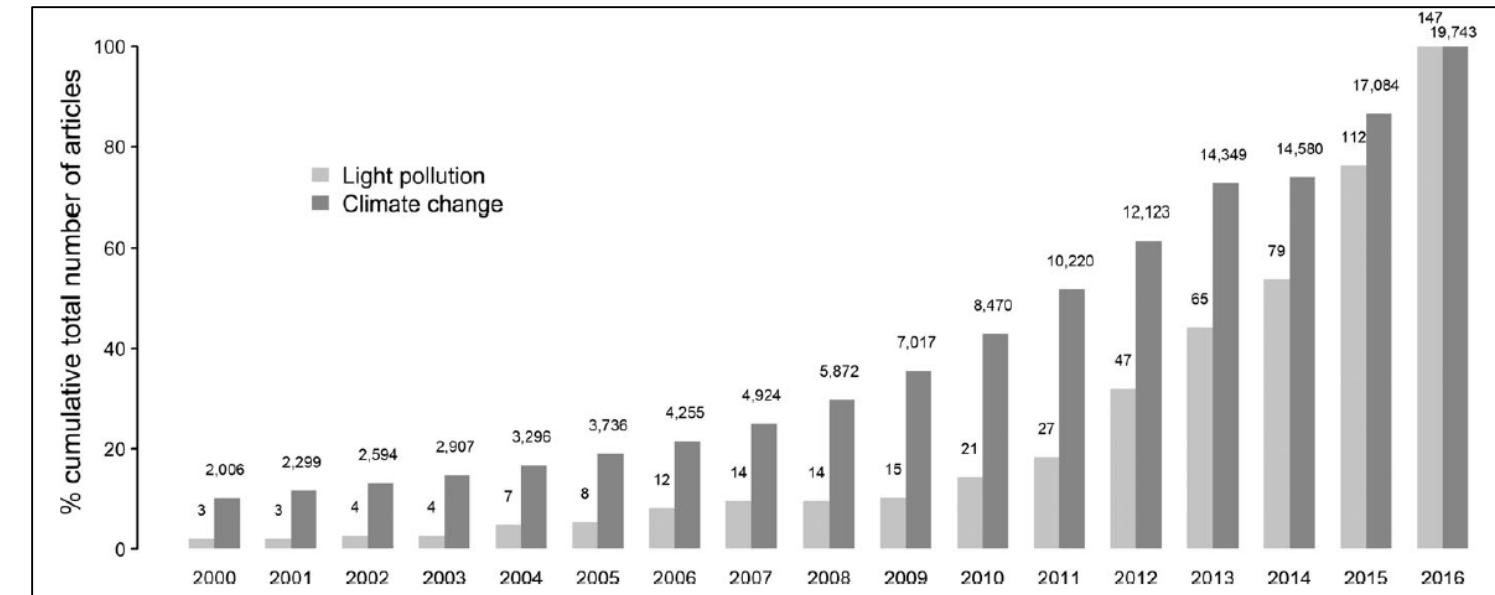
Espèces emblématiques (tortues marines, oiseaux marins, papillons de nuits)

Montée en puissance de la recherche en écologie

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

2018

1900

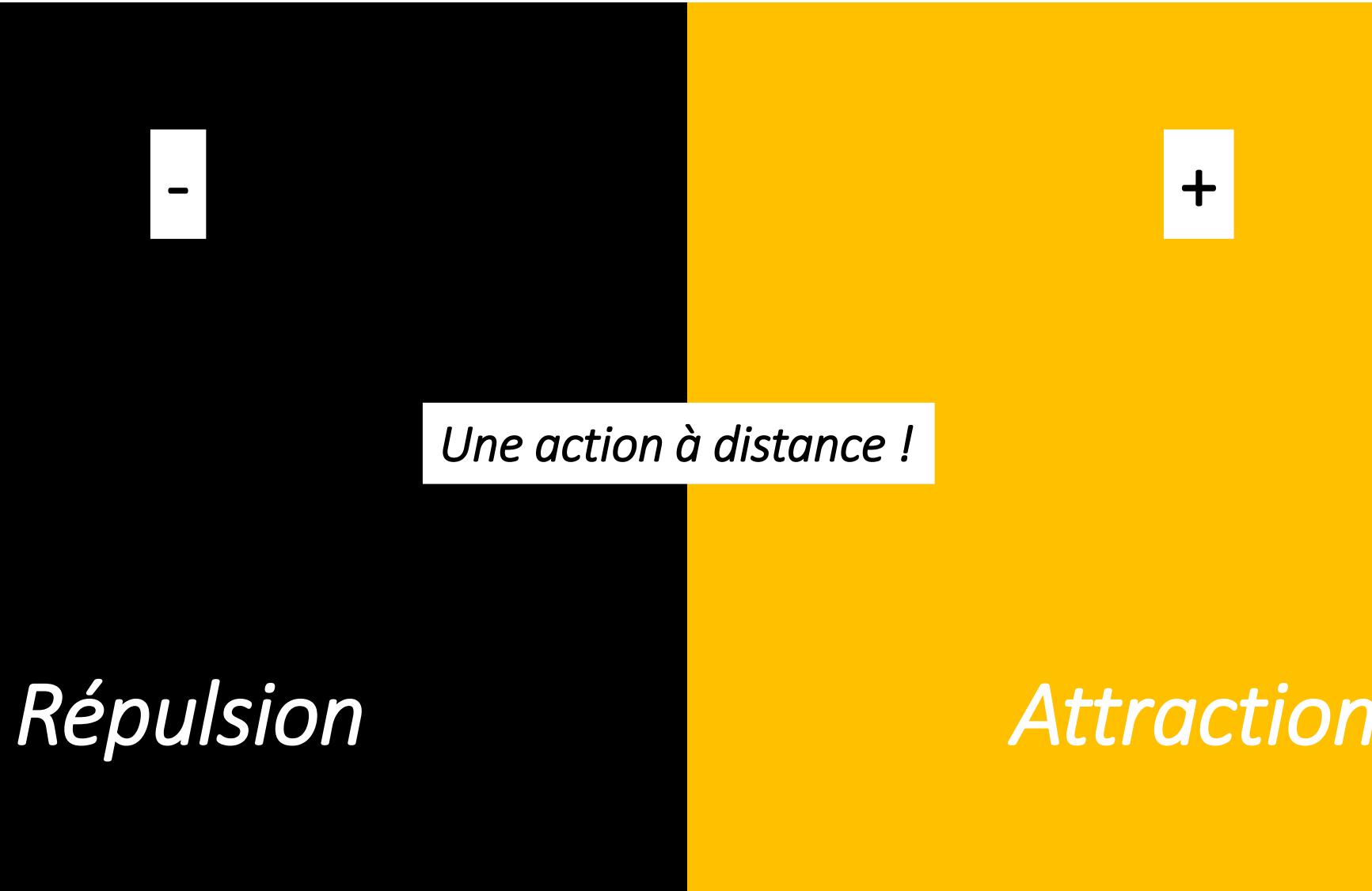


Davies & Smith, 2017

Des besoins de connaissances :

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

Le mécanisme de base : le phototactisme



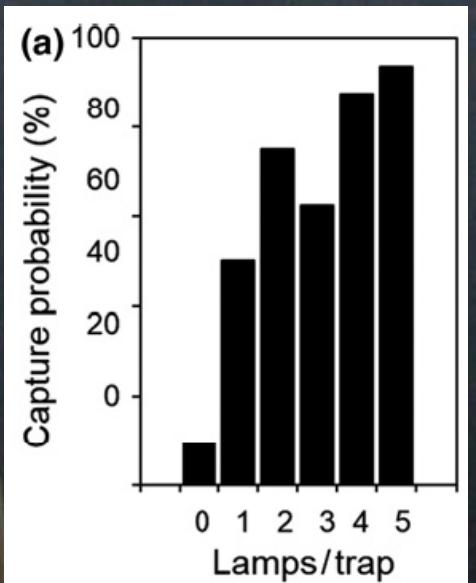
Attraction, désorientation, collisions

=> *effets démographiques*
Piège écologique

Ex : *Justice & Justice* 2016

Photos V. Vignon

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



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

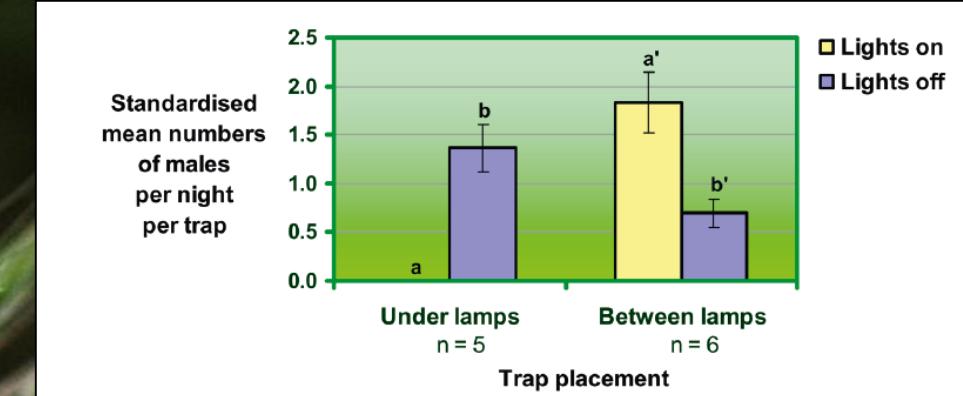


Figure 3 Standardised mean numbers (\pm S.E.) of *L. noctiluca* males captured per night per trap under and between street lamps when lamps were switched on or switched off. Means with the same letter within trap placement categories were not significantly different (paired t-test, $P \leq 0.005$).

Ineichen &
Ruettimann, 2016

Modifications des relations interspécifiques

Pollinisation

Ex : Knop et al. 2017



Rapports Proies/Prédateurs

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



Photos R. Sordello

P. Gourdin

Fragmentation et mitage nocturne

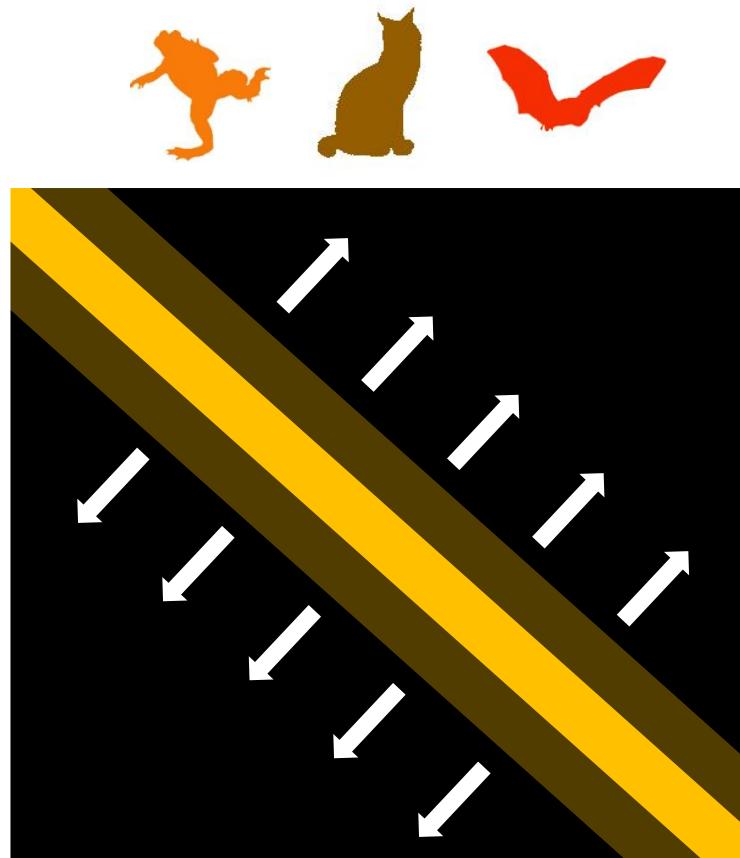


- **Visuellement évident**
- **Désormais démontré sur le plan fonctionnel (ex : Van Grunsven et al., 2017)**

Synthèses :
Sordello, 2017
Sordello et al., 2014

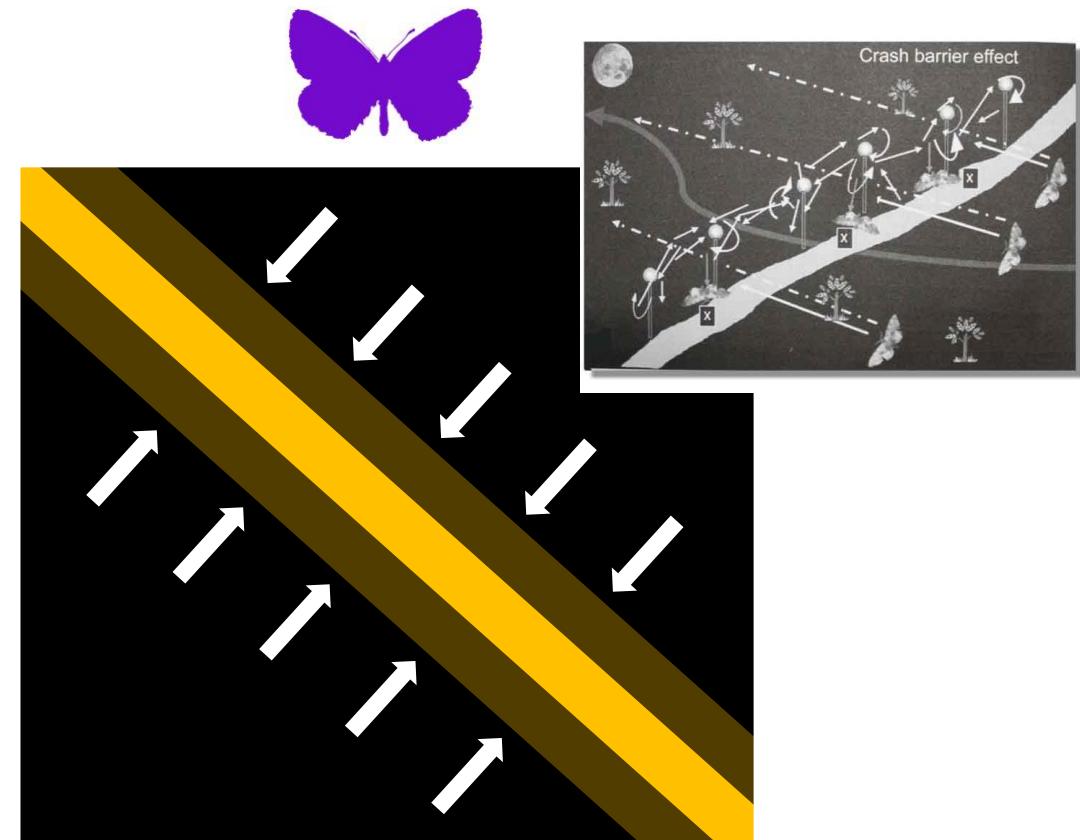
Deux types de fragmentation en fonction du phototactisme

Fragmentation par répulsion



Mammifères terrestres : Bliss-Kecthum et al., 2016
Amphibiens : Van Grunsven et al., 2017

Fragmentation par absorption



« crash barrier effect »
Théorisé dès 2006 pour les insectes par Eisenbeis

Effet sur les rythmes biologiques



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

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

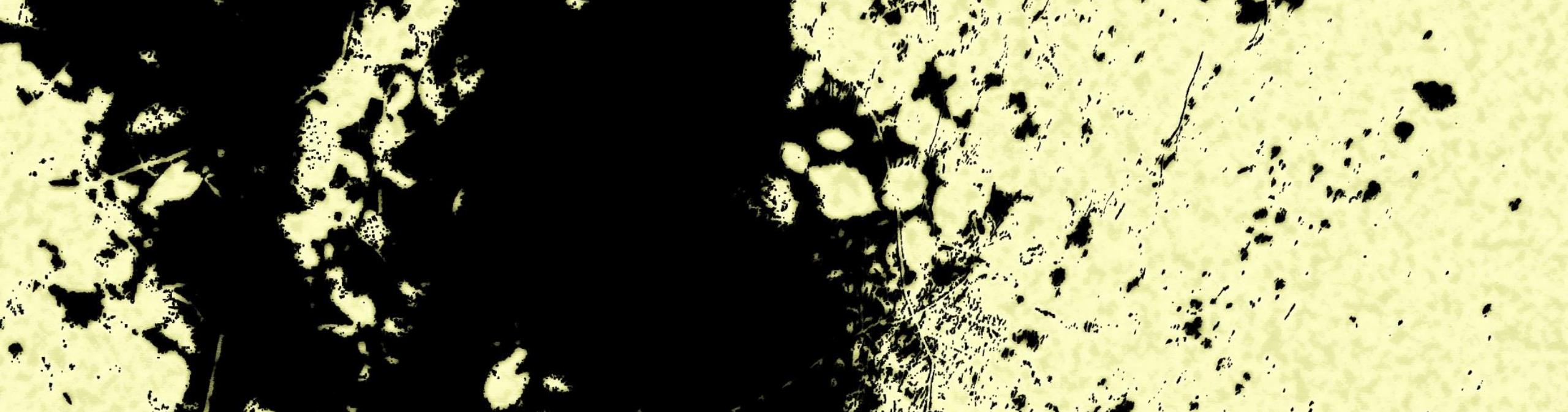
=> Désynchronisation, baisse de l'activité, stress, vieillissement, ...

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 règlementation 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**

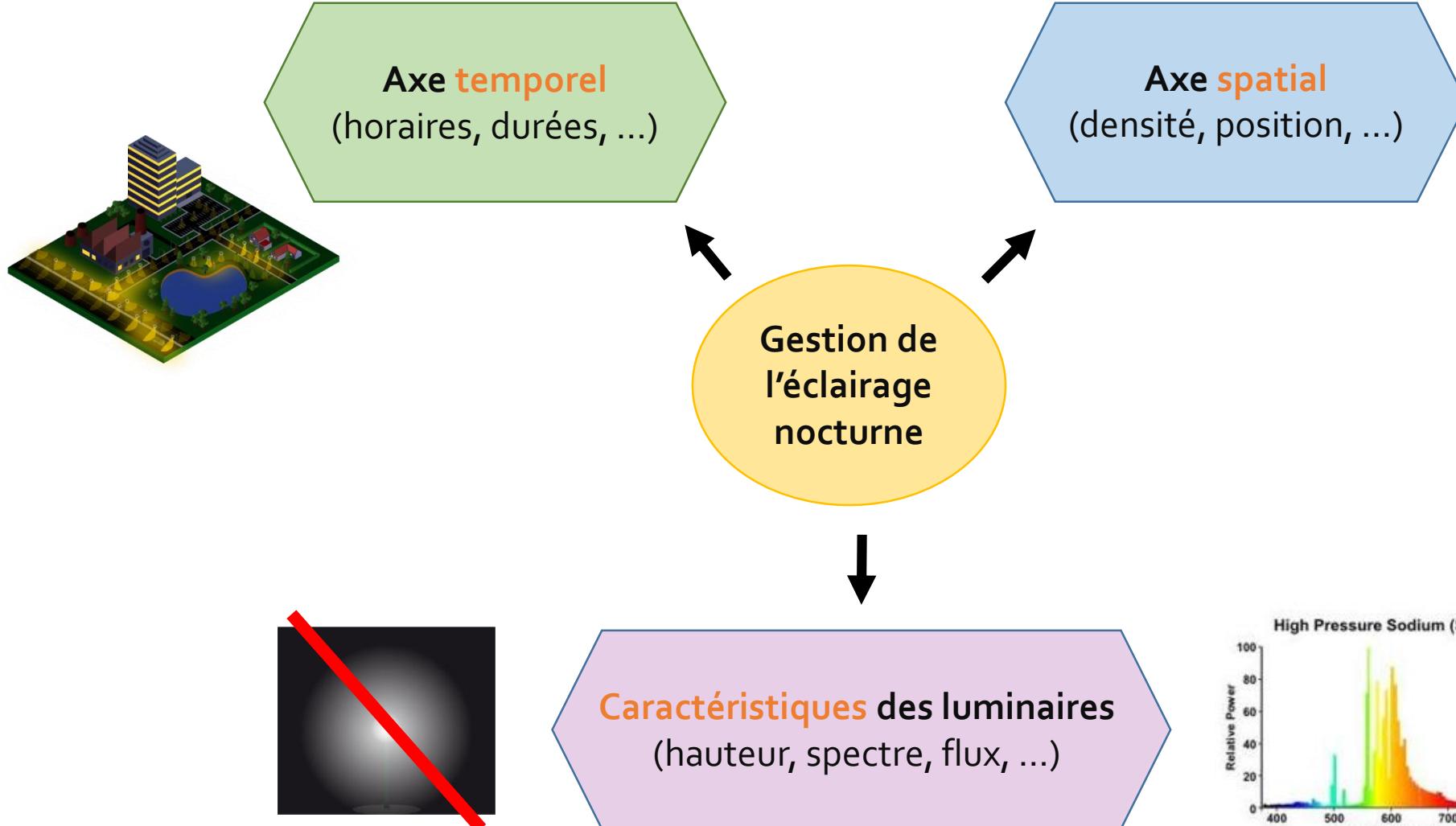
Grands principes

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

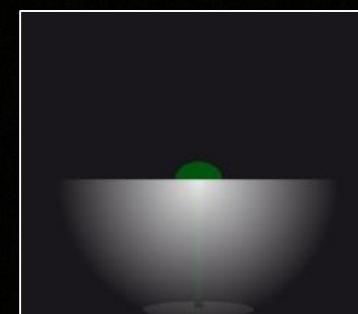
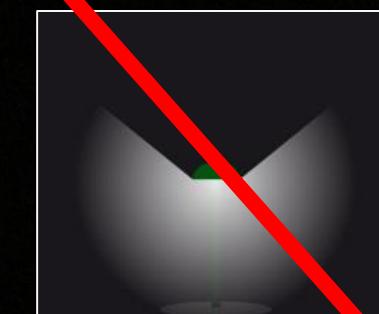
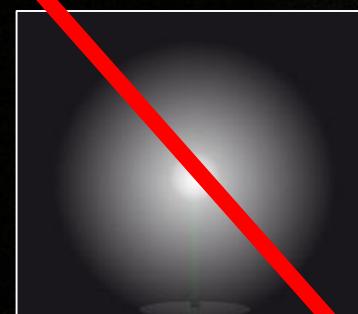
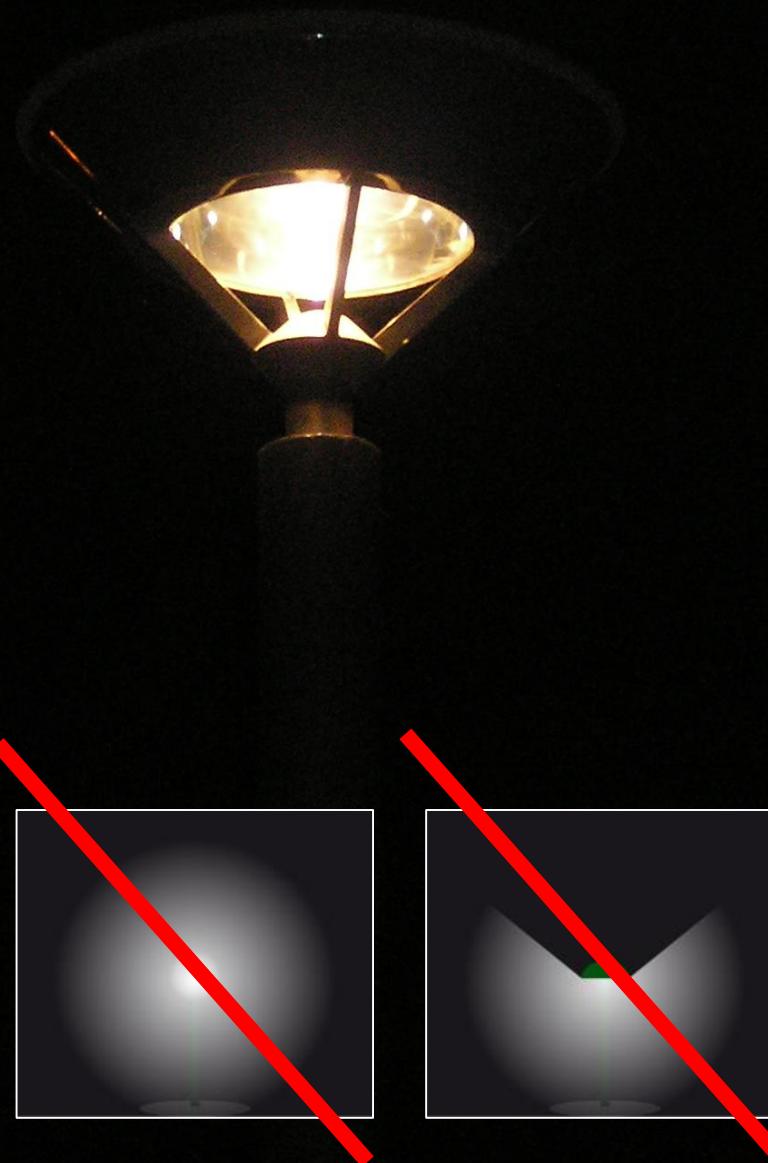
Se questionner sur l'**opportunité** même d'éclairer

Si le choix d'éclairer est fait (besoin) :
éclairer ce qu'il faut, quand il faut, où il faut

Trois axes d'actions possibles



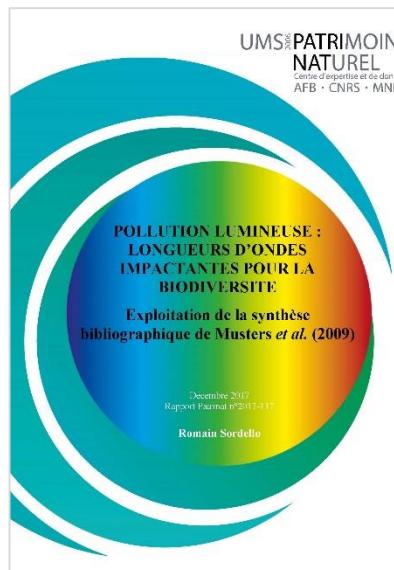
L'orientation des luminaires



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

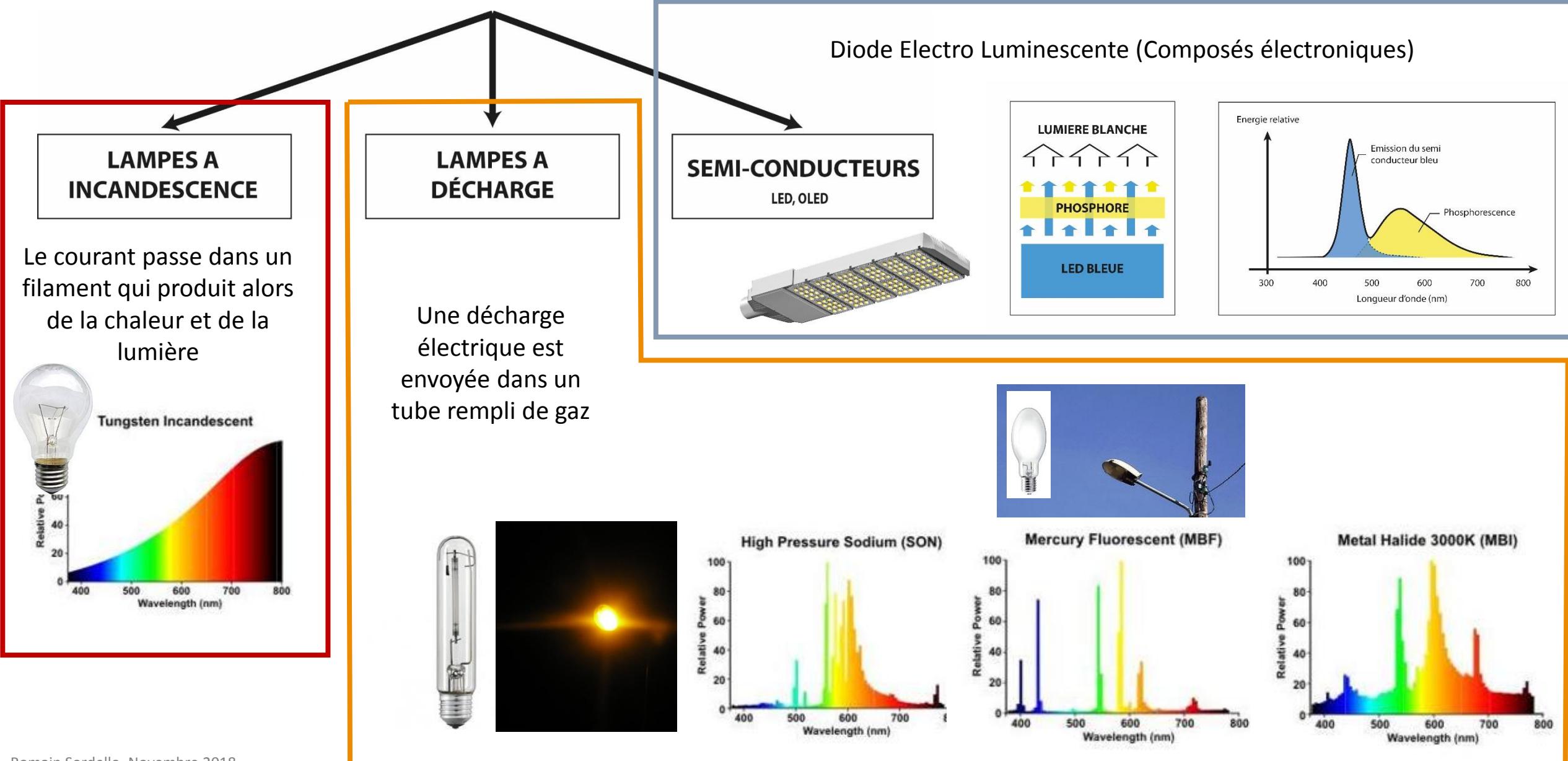
	Ultraviolet (<380nm)	Violet (380-450nm)	Bleu (450-500nm)	Vert (500-550nm)	Jaune (550-600nm)	Orange (600-650nm)	Rouge (650-750nm)	Infrarouge (>750nm)
Plantes	• Croissance	• Croissance	• Croissance	• Croissance			• Croissance • Horloge circadienne	• Croissance • Horloge circadienne • Horloge circannuelle • 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	• Horloge circadienne • Activité	• Horloge circadienne
Chiroptères		• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Horloge circadienne	• Activité	• Horloge circadienne	
Reptiles		• Phototactisme	• Phototactisme	• Phototactisme	• Phototactisme	• Activité		

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

Légende :

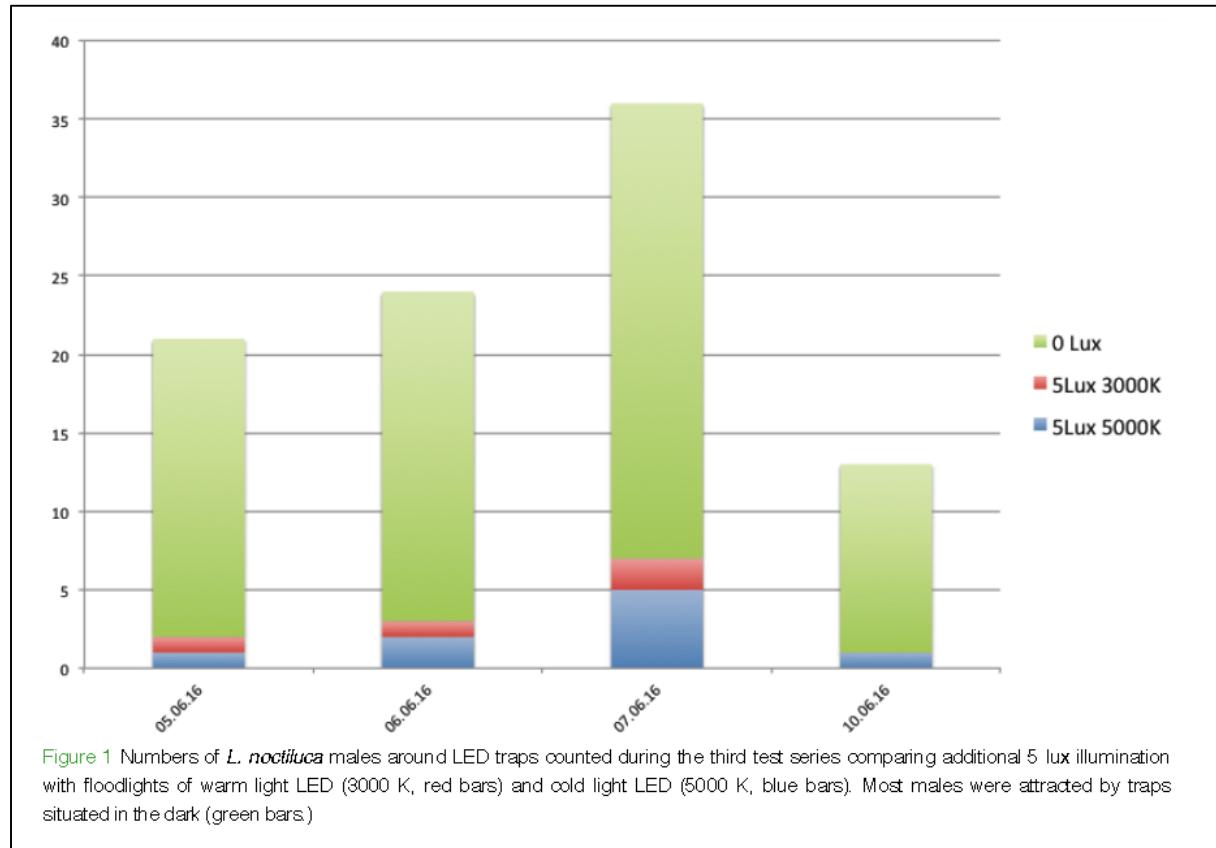
1 type d'impact	2 types d'impacts	3 types d'impacts	4 types d'impacts
-----------------	-------------------	-------------------	-------------------

Plusieurs sources lumineuses avec chacune leur spectre



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)

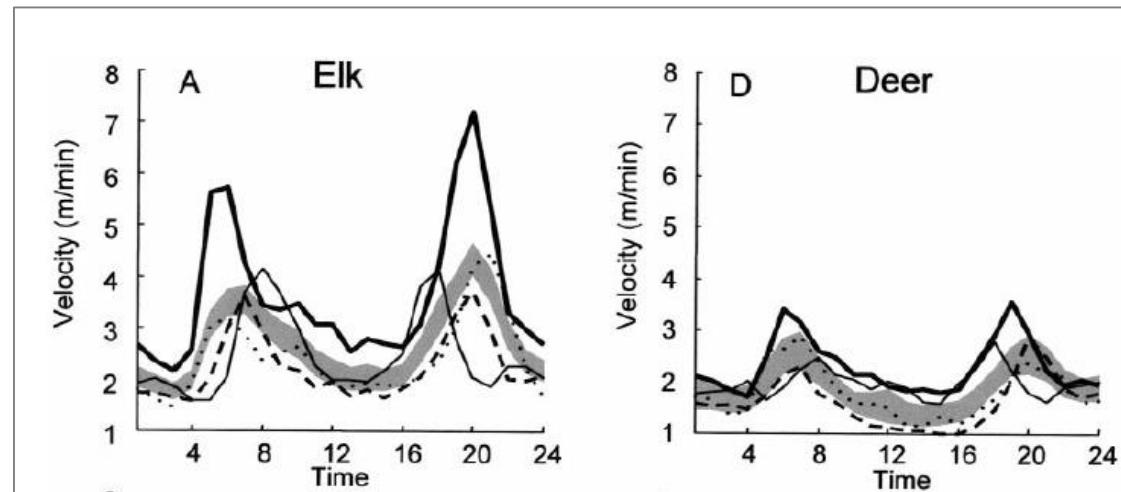
La temporalité de l'éclairage

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

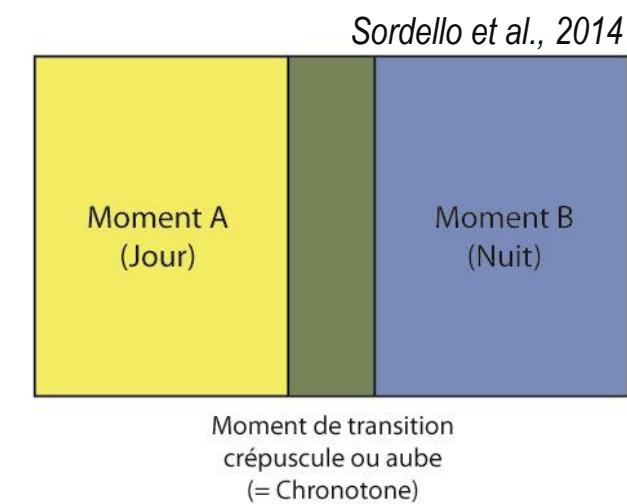
=> Evaluée uniquement chez les chauves-souris (deux études)

=> **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,)



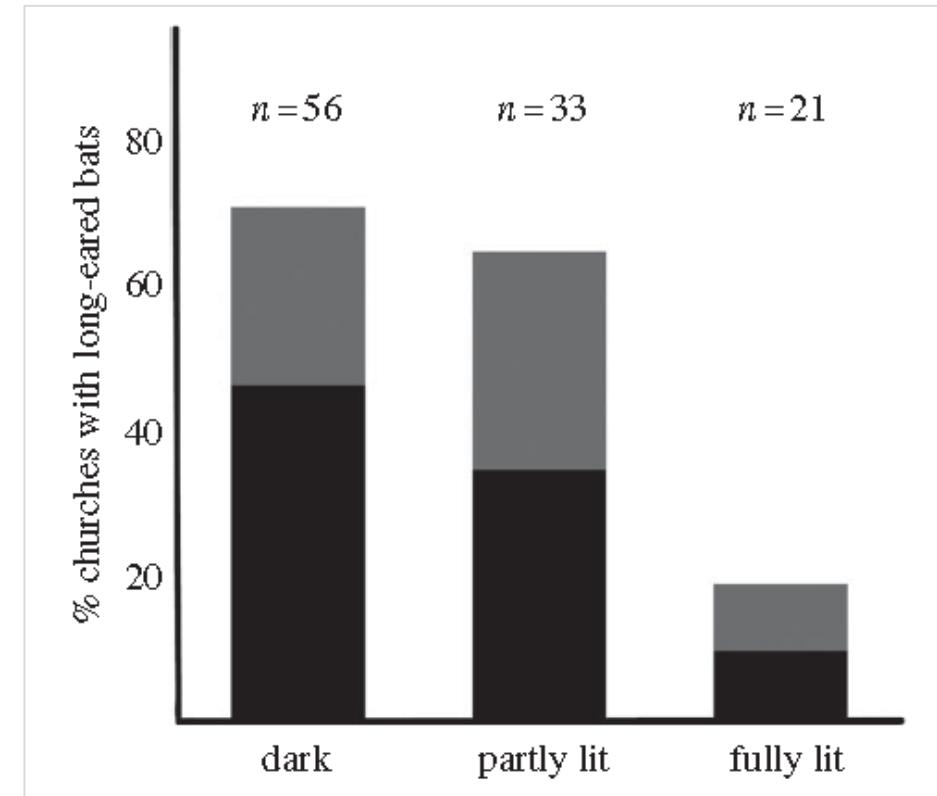
Pilotage « intelligent » de l'éclairage toute la nuit (via détecteurs, minuteries). => Perspectives intéressantes grâce aux LED



Axe spatial : gestion différenciée de l'éclairage

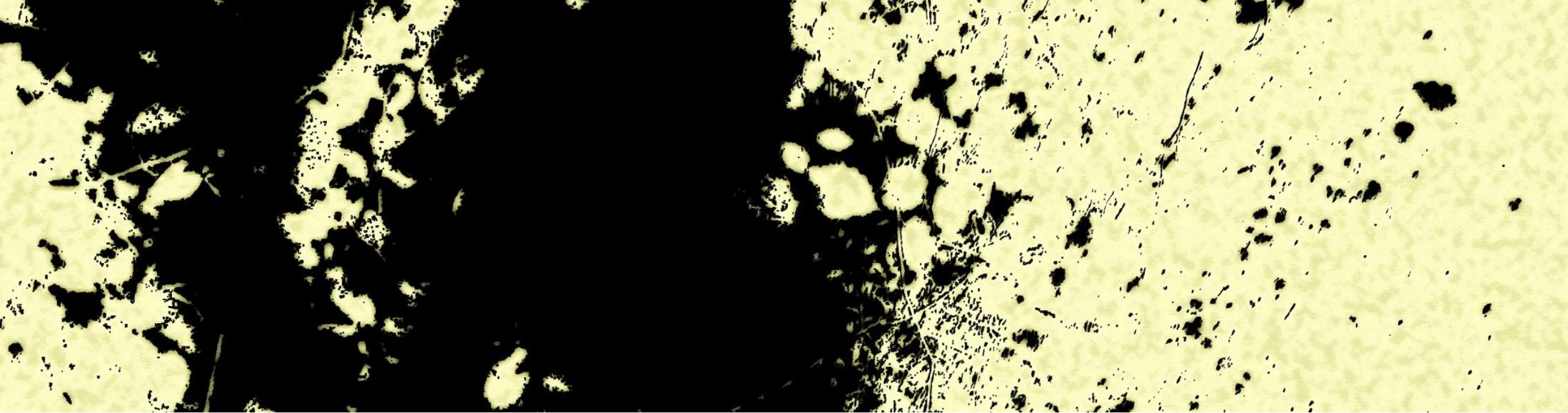
- **Graduation de l'éclairage** (ex : densité de points lumineux) voire absence totale d'éclairage en fonction des espaces
- Vigilance sur certains sites (ex : bâti patrimonial)
- Certains milieux très sensibles (ex : eau)
- Importance des revêtements (réflexion)

Rydell et al., 2018



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

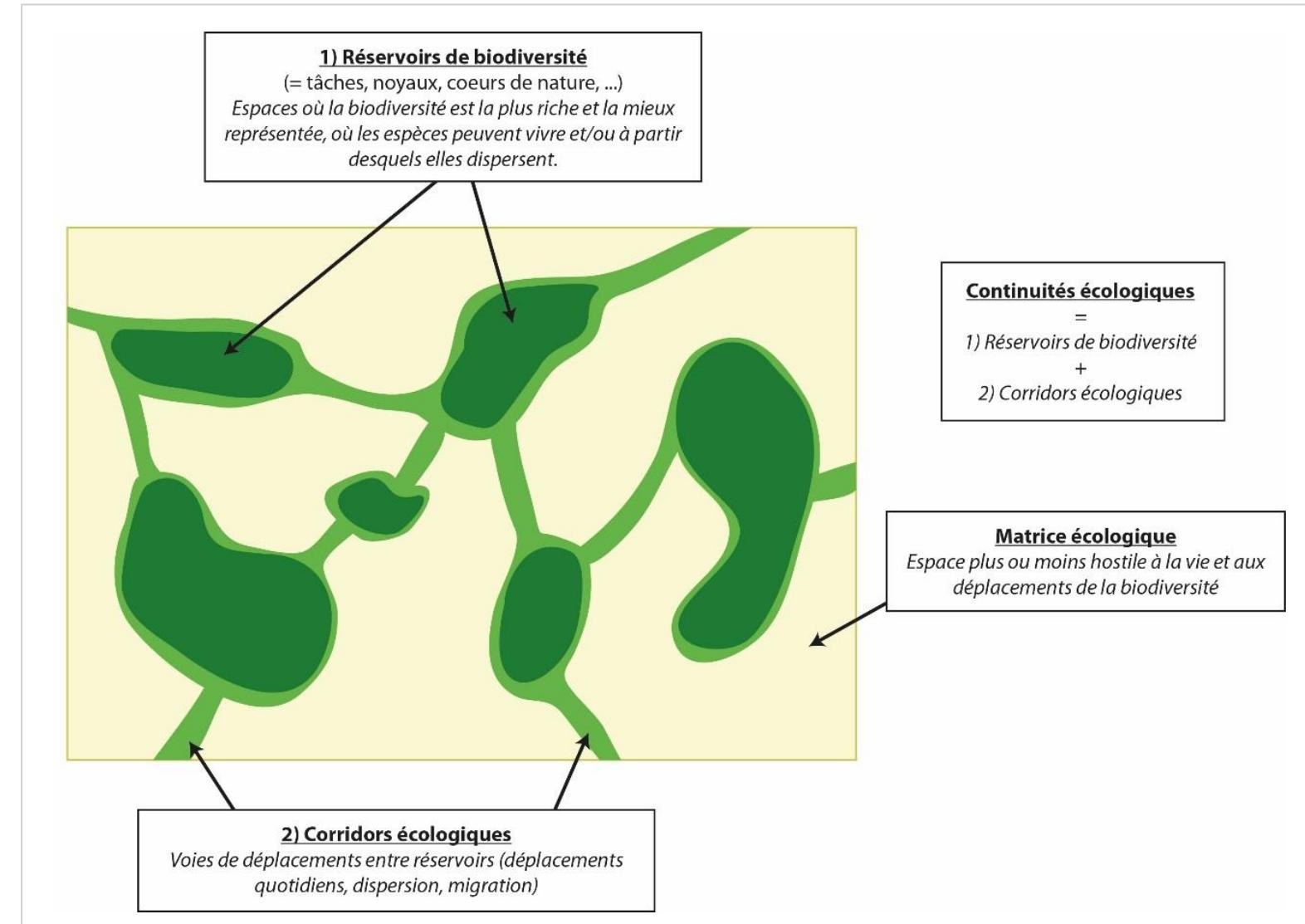




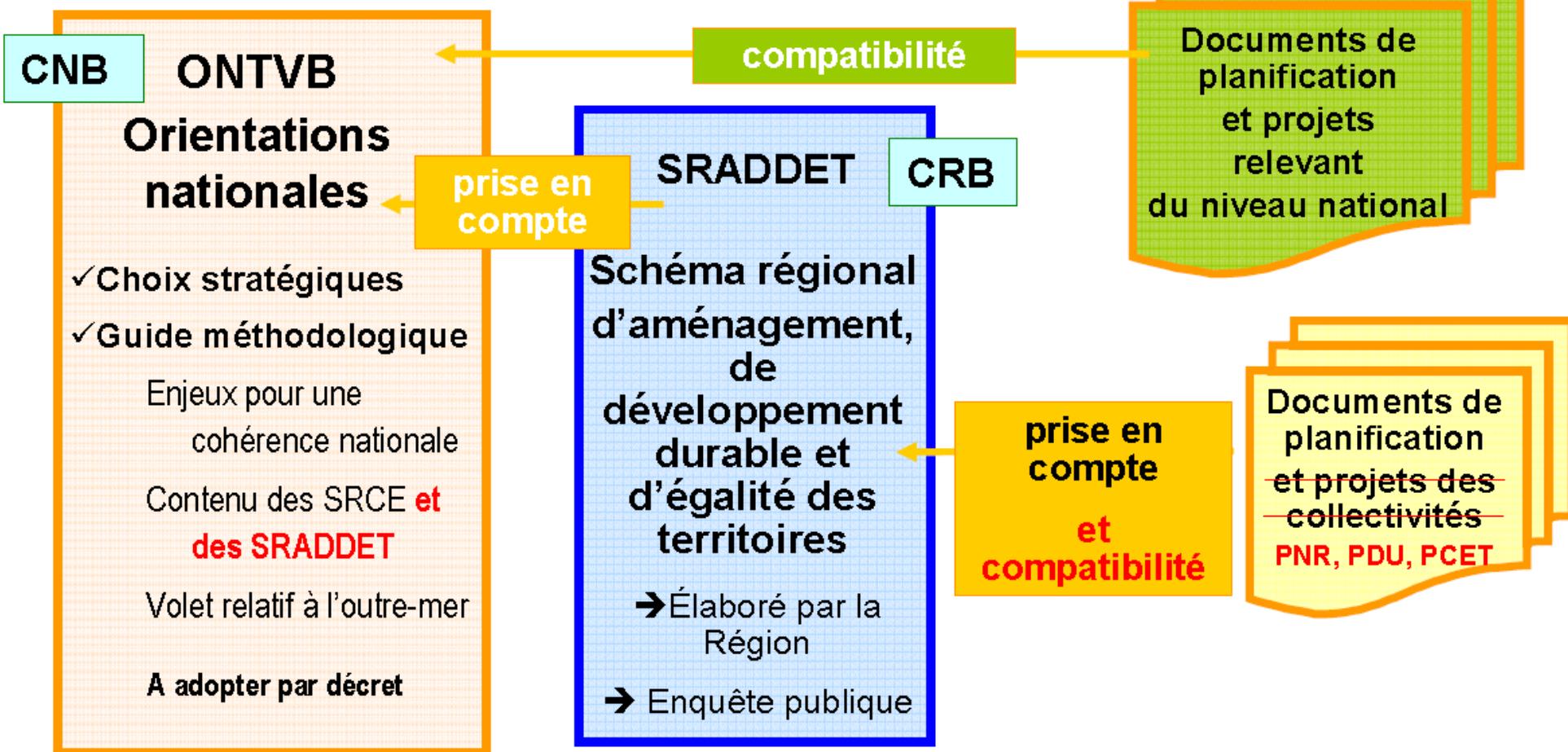
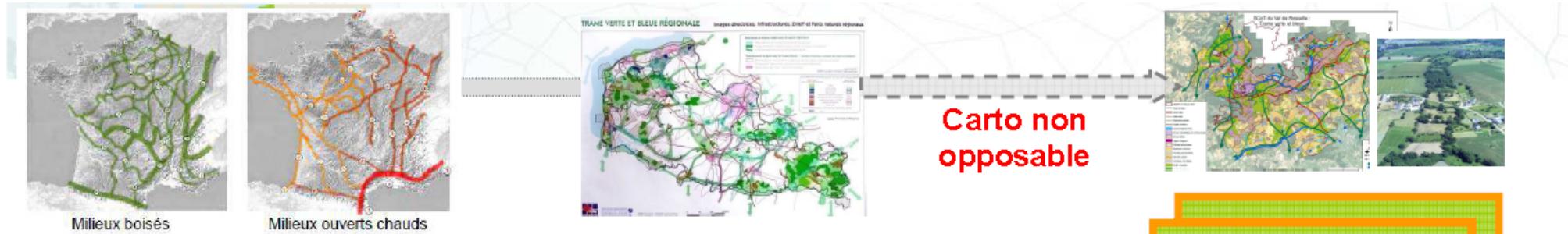
VERS UNE TRAME NOIRE

La Trame verte et bleue

- Politique publique du Ministère de l'écologie
- Née du grenelle de l'environnement (2007)
- Lutter contre la fragmentation des habitats
- Prendre en compte la biodiversité dans l'aménagement du territoire
- Préserver et restaurer des continuités écologiques constituées **de réservoirs de biodiversité et de corridors**
- Mise en œuvre à trois échelles : nationale, régionale, locale



Trois échelles de mise en œuvre



Que dit le cadrage national TVB sur la pollution lumineuse ?

- **Code de l'environnement (modifié par la loi Biodiversité d'août 2016)**

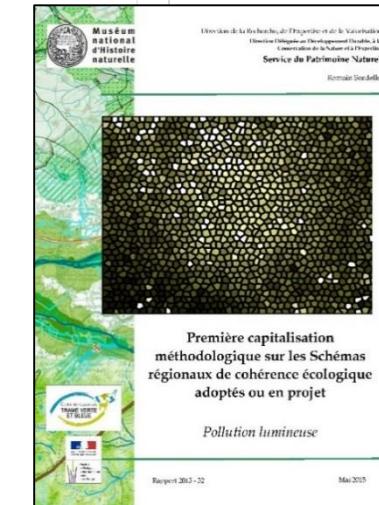
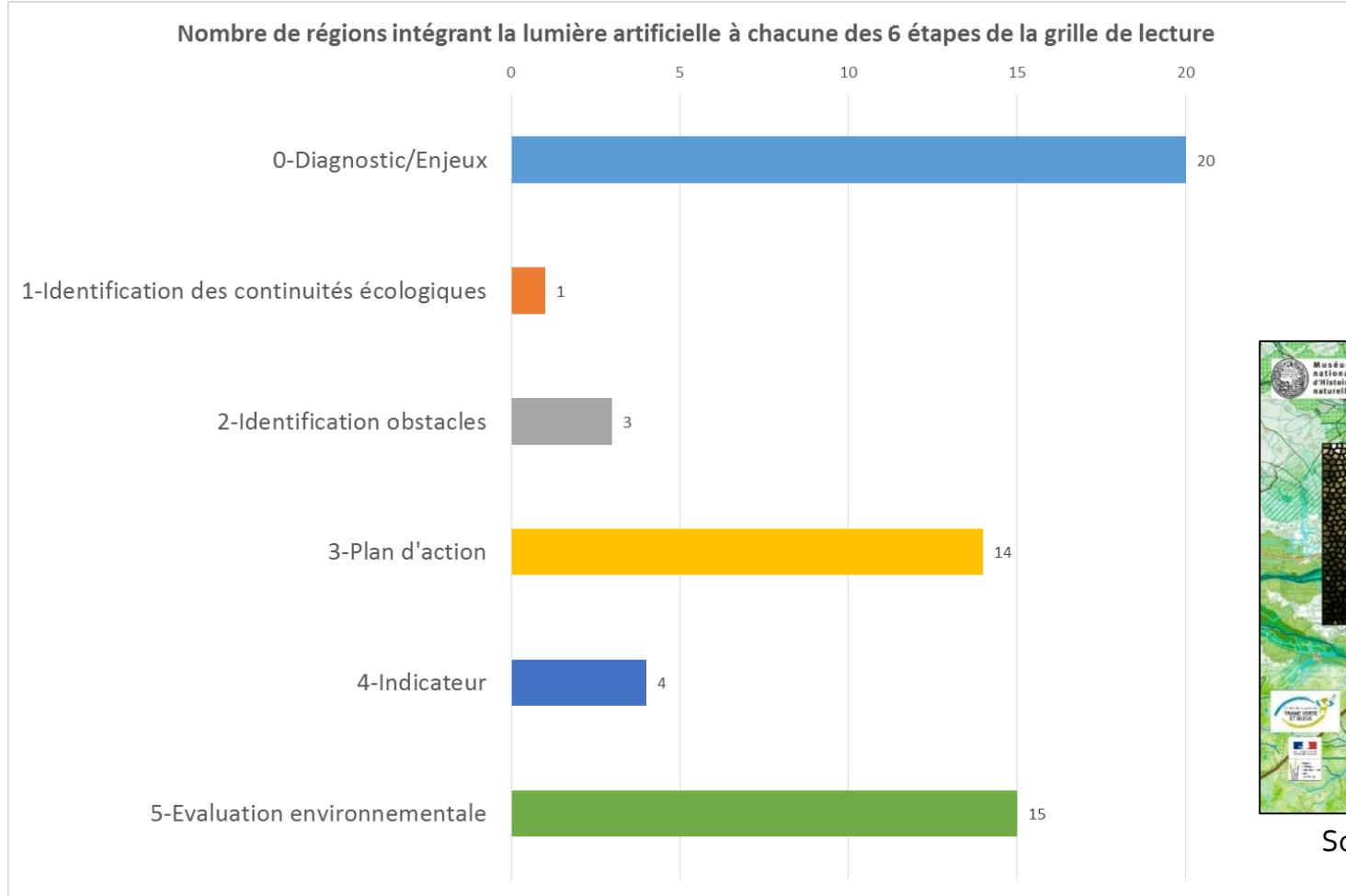
« *I- La trame verte et la trame bleue ont pour objectif d'enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural **ainsi que la gestion de la lumière artificielle la nuit.*** »

- **Orientations nationales TVB**

« *Partie 1 - Choix stratégiques de nature à contribuer à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques* » => 5 grands objectifs de la TVB dont « *maîtriser l'urbanisation et l'implantation des infrastructures et d'améliorer la perméabilité des infrastructures existantes* », notamment « *en intégrant des problématiques connexes à l'urbanisation, notamment la pollution lumineuse* ».

*En cours de révision
⇒ thématique pollution lumineuse renforcée*

Des enjeux soulignés au niveau régional

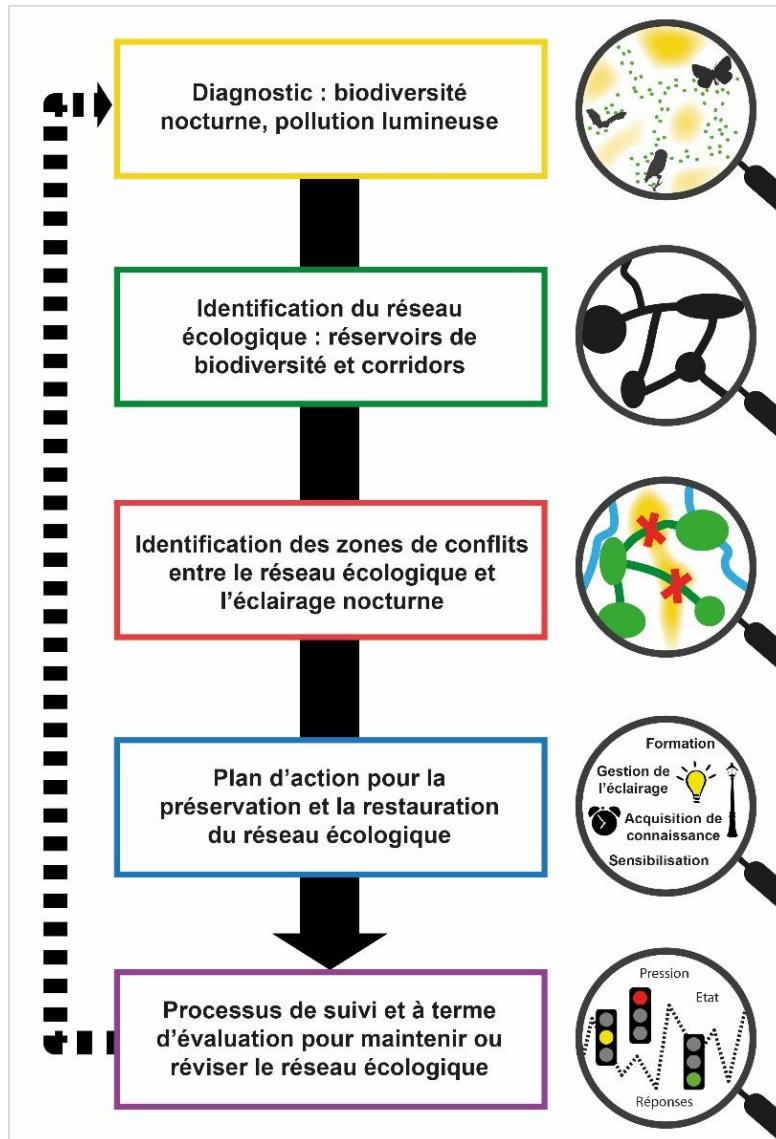


Sordello, 2015

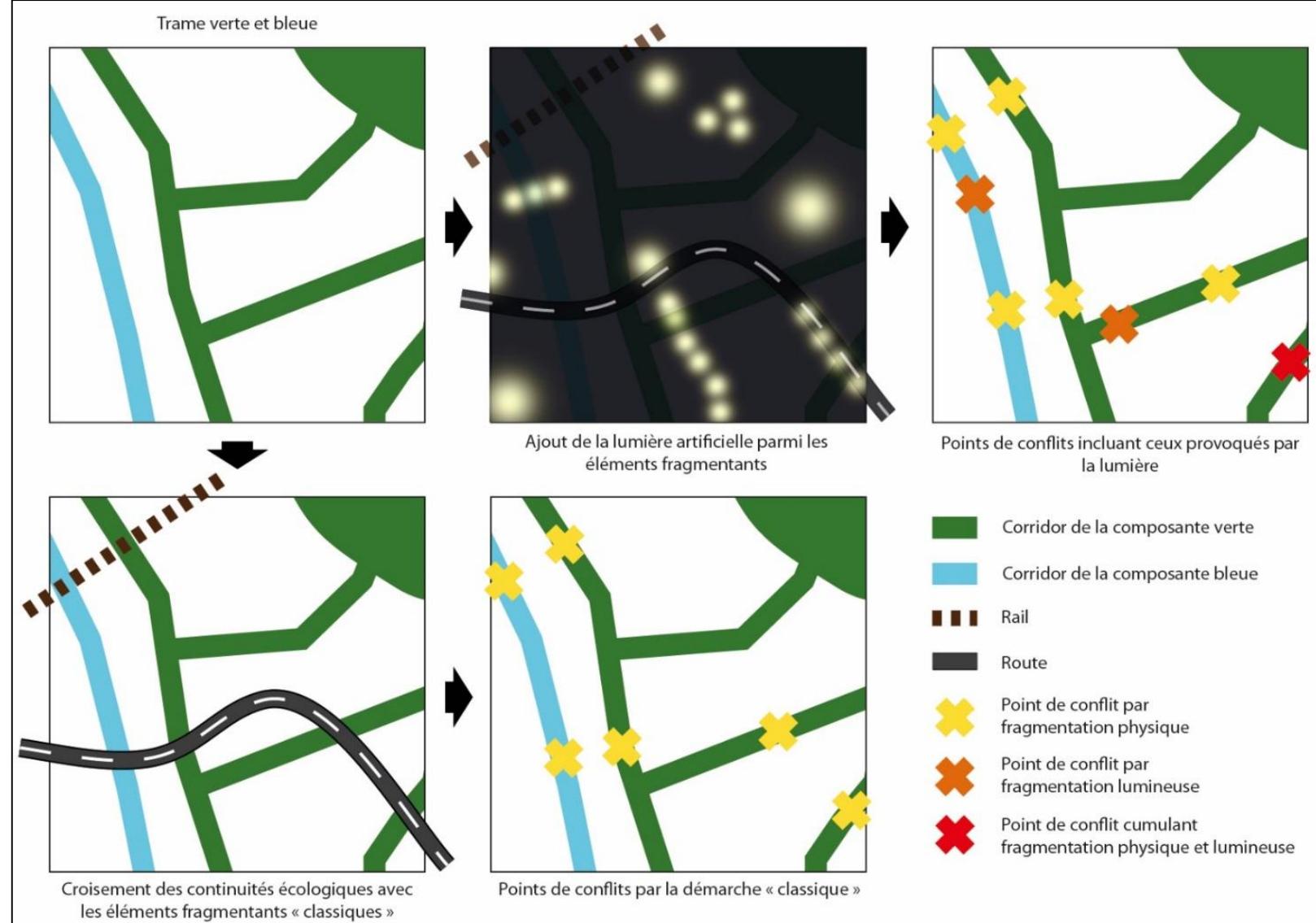
- **Forte mise en avant dans les diagnostics des SRCE**
- **Pas de prise en compte directe dans l'identification des corridors/réservoirs**
- **Quelques SRCE citent cette pression pour l'identification des obstacles**
- **Plusieurs actions prévues (connaissances + gestion éclairage)**

Comment prendre en compte la lumière artificielle dans la Trame verte et bleue ?

Plusieurs étapes possibles



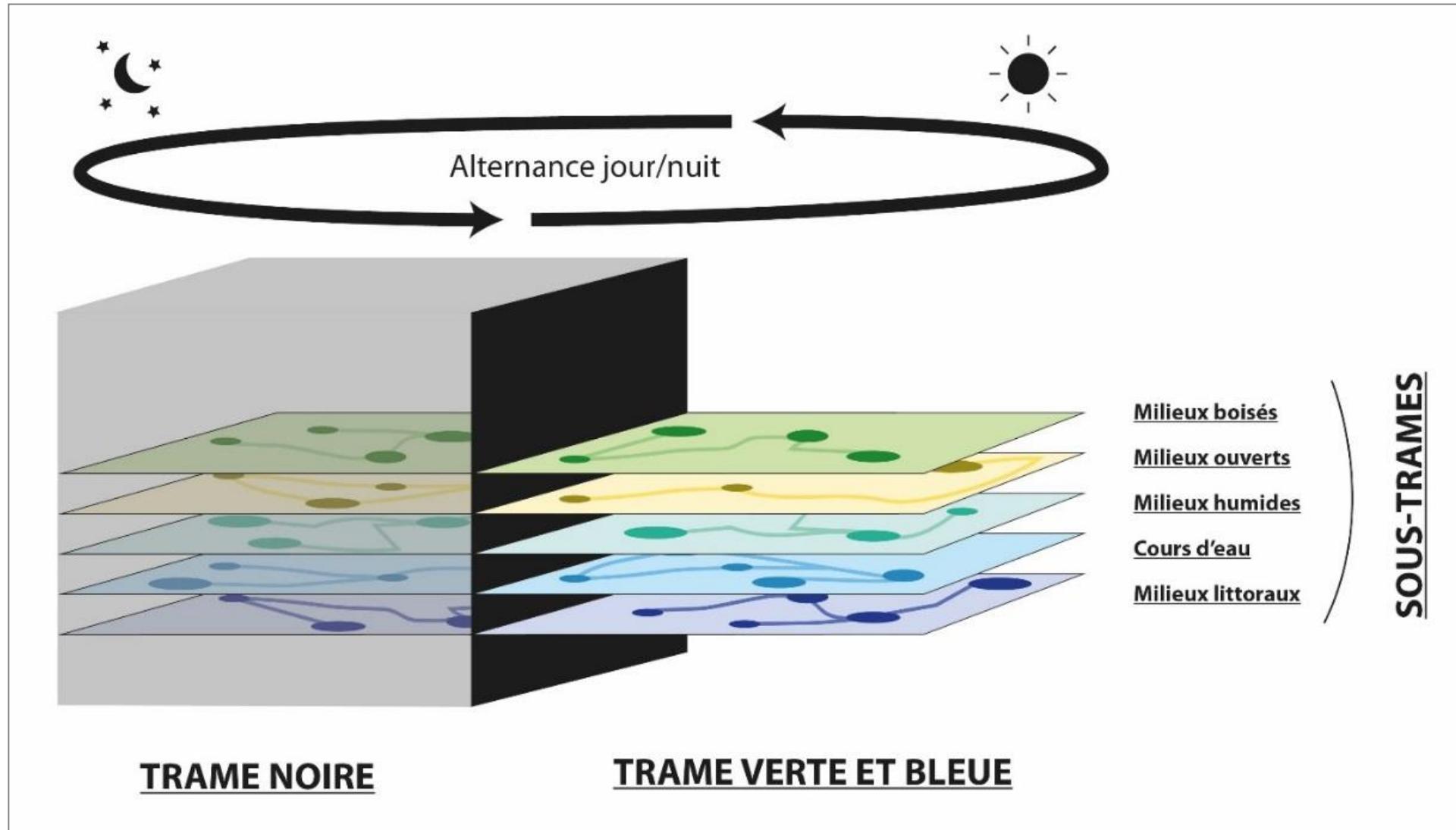
Identification d'obstacles aux continuités



Sordello, 2017 Vertigo

Aller plus loin en identifiant une Trame noire

Caractériser un réseau écologique de réservoirs et de corridors basé sur l'obscurité, pour la vie la nuit



TRAME NOIRE

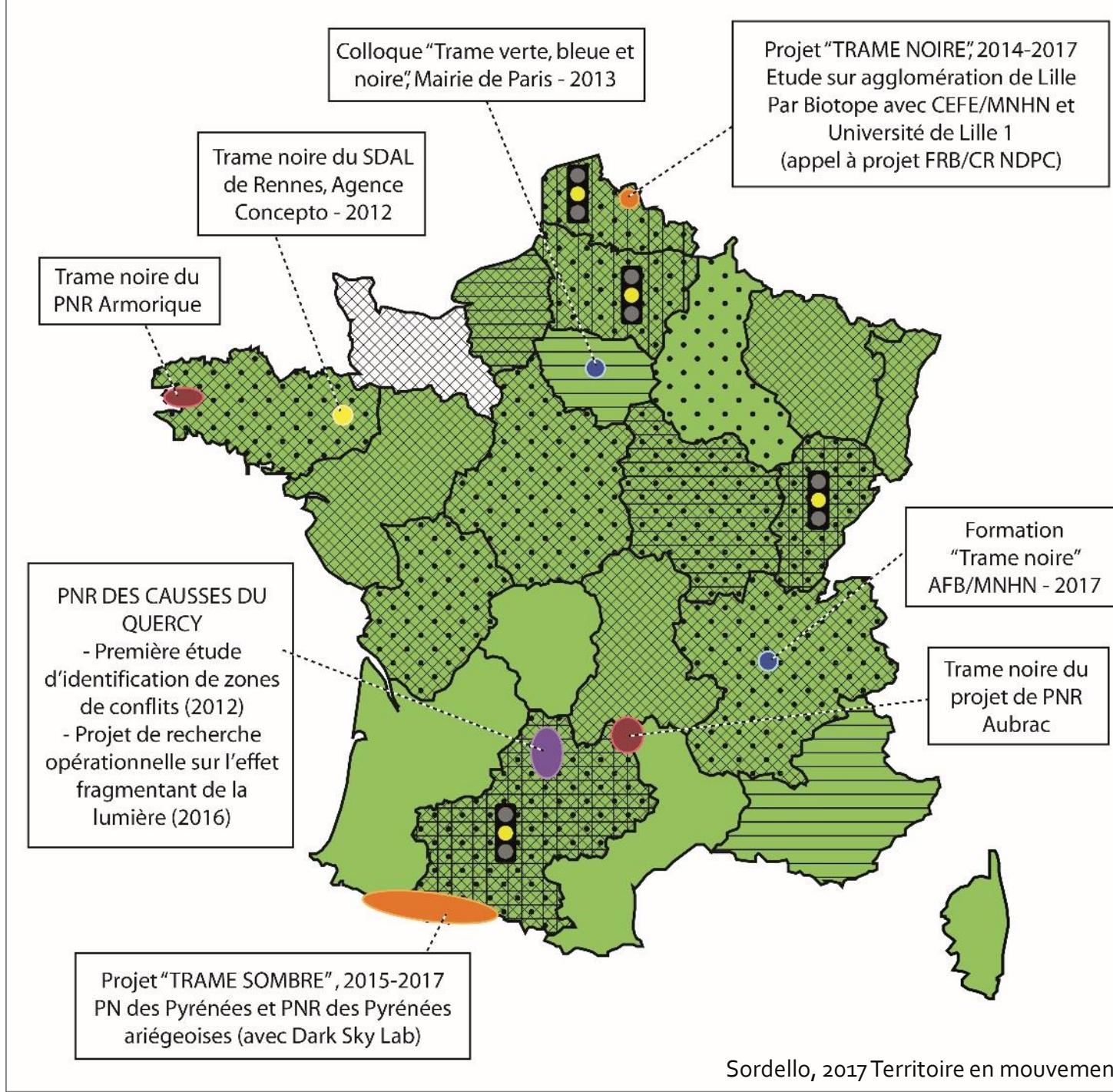
TRAME VERTE ET BLEUE

Etat des lieux en France

- Quelques projets aboutis
- De nombreux acteurs s'engagent actuellement : collectivités, parcs naturels régionaux, ...



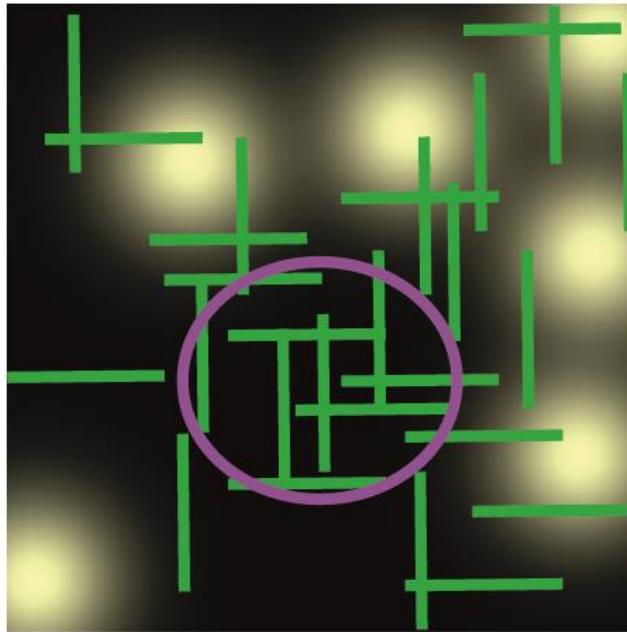
Sordello et al. 2018 SET



Approches méthodologiques

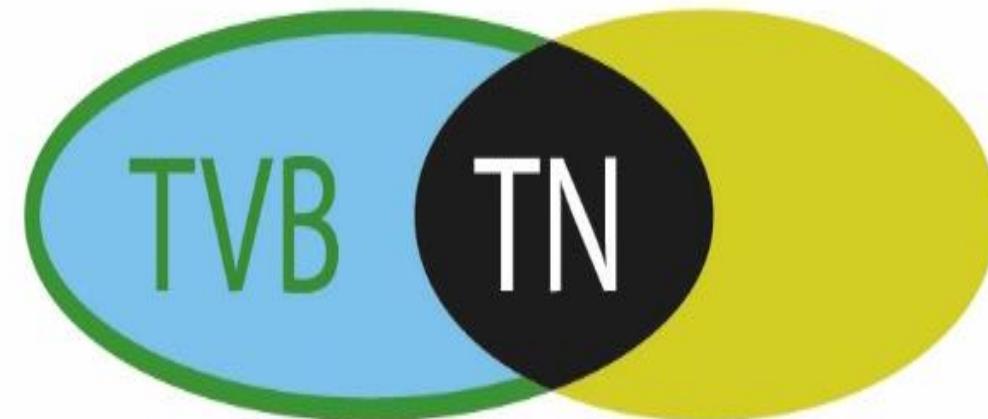
Sordello, 2017 Territoire en mouvement

Méthode intégrative



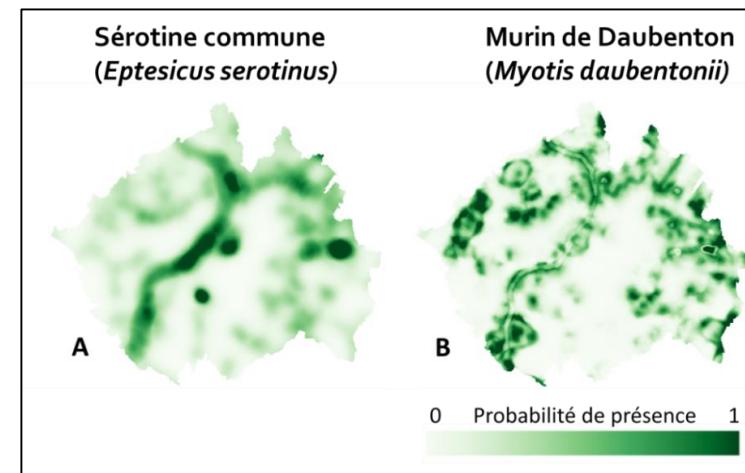
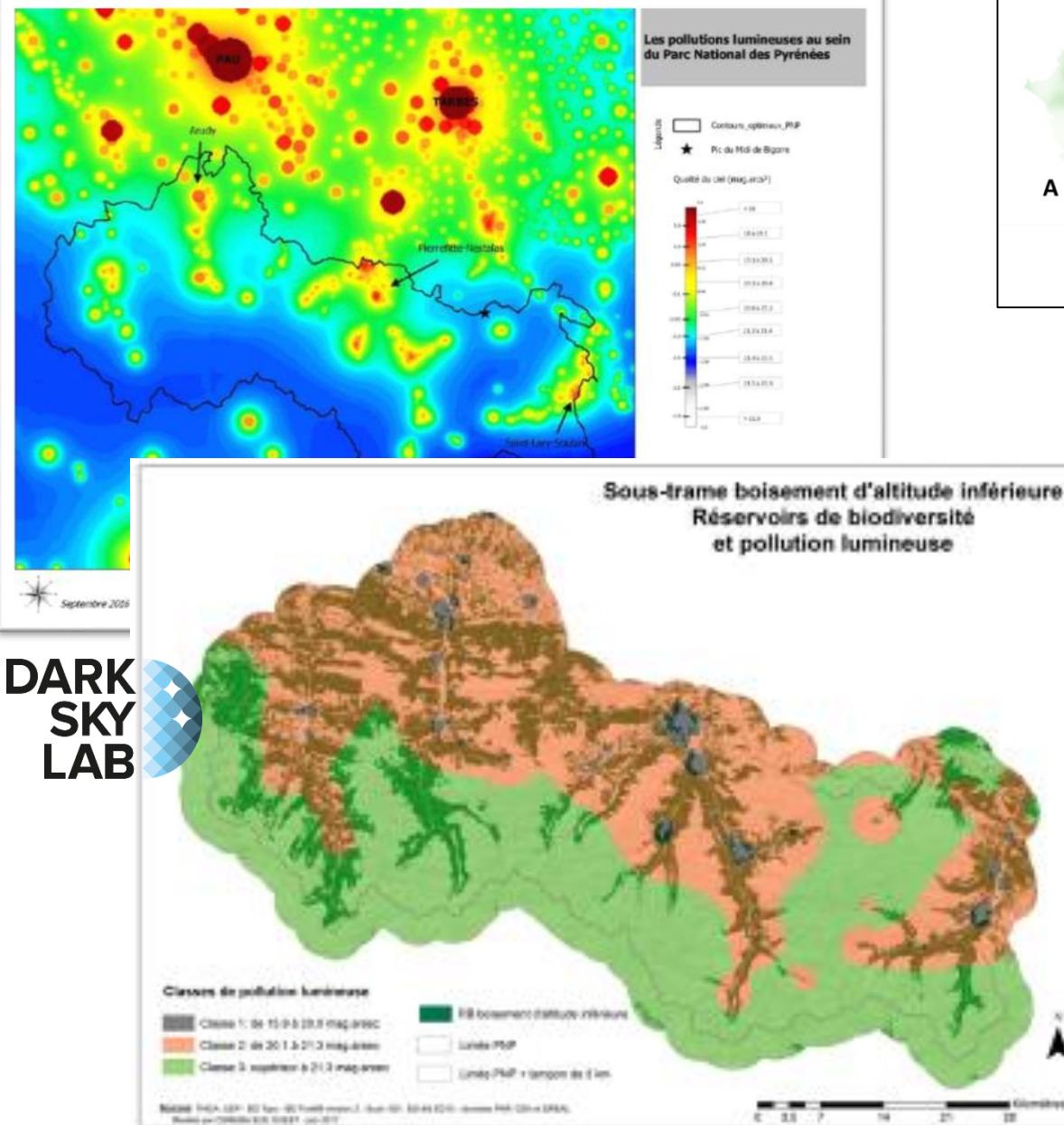
L'obscurité est intégrée directement dans l'identification des continuités écologiques de la trame noire (ici par exemple pour des réservoirs de biodiversité de milieux bocagers)

Méthode déductive

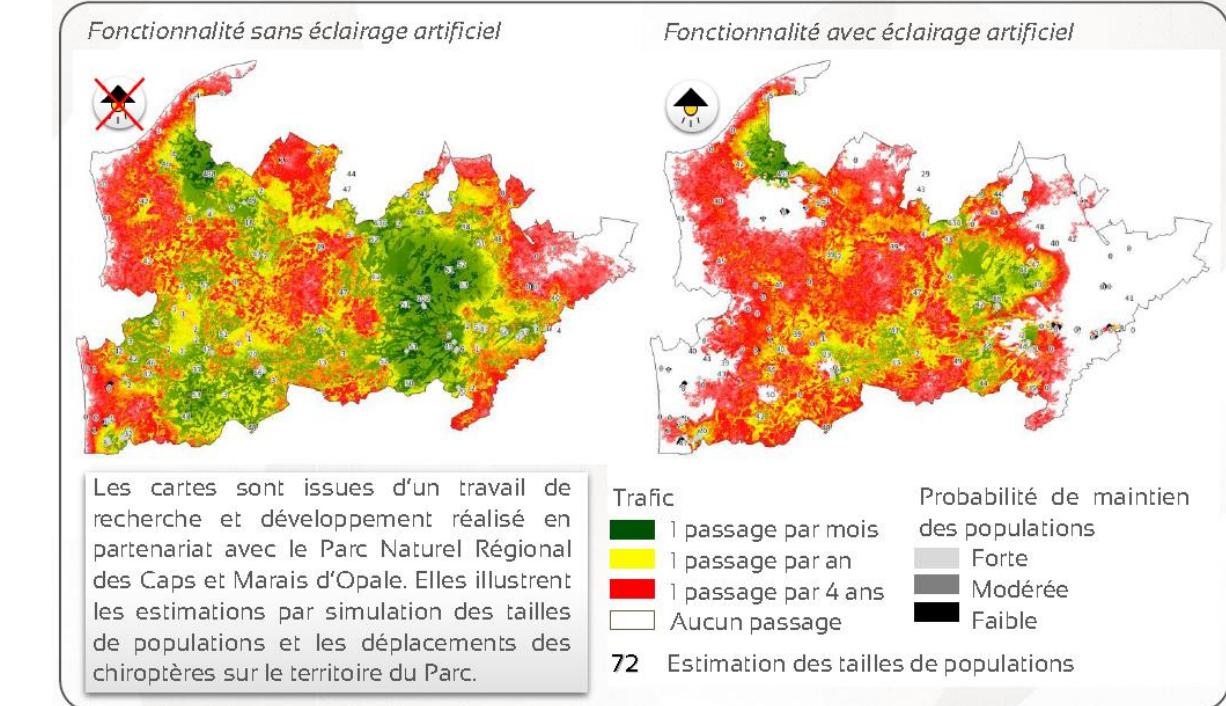


L'obscurité est superposée à la trame verte et bleue actuelle pour en déduire les continuités écologiques de la trame noire

Principales expérimentations

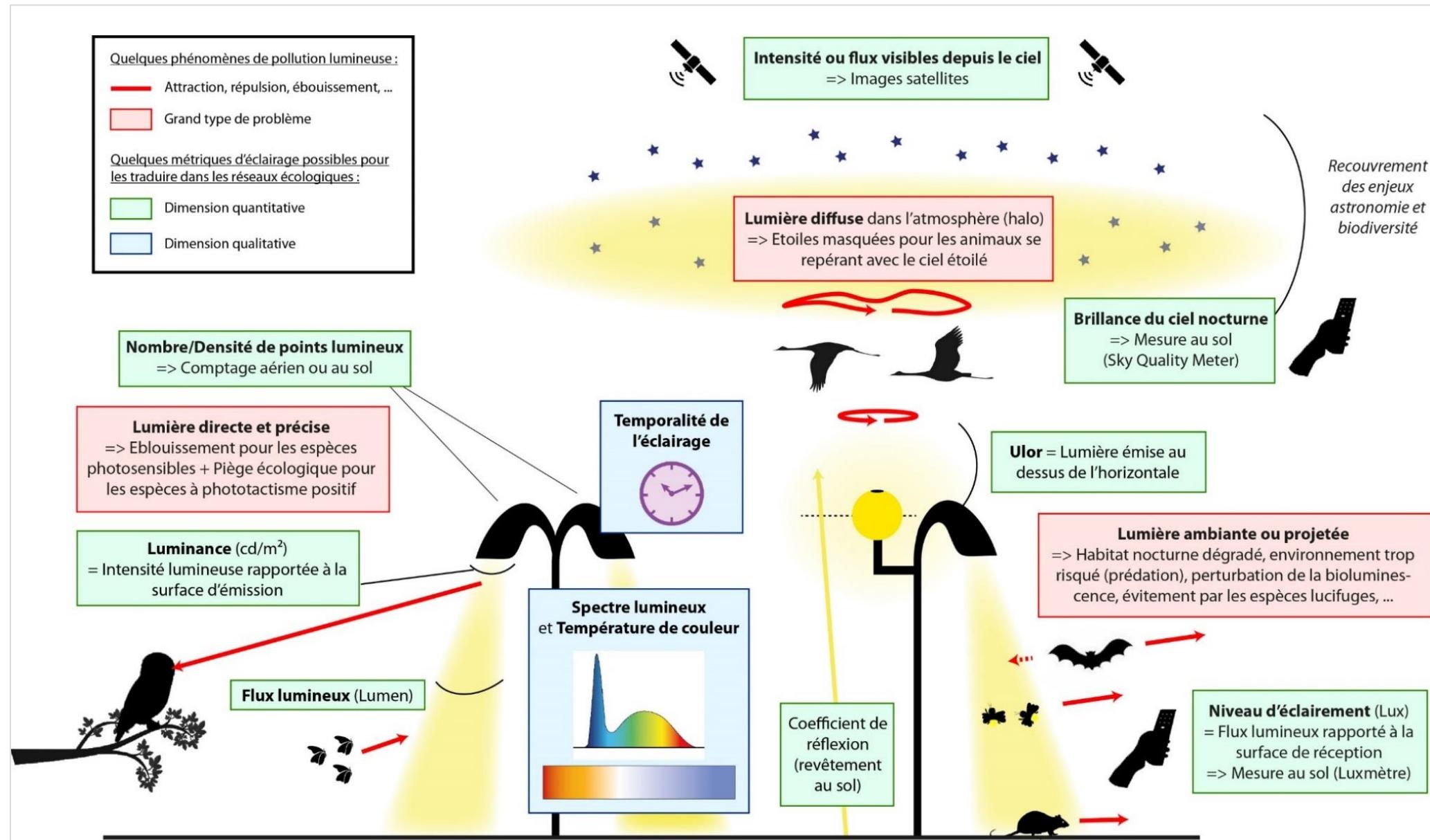


Diagnostic des continuités écologiques avec et sans lumière artificielle



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 ?



Actualités nationales en 2019

- Formation AFB au premier semestre (réplique de la formation dispensée en 2017)
- Journée d'échanges techniques du Centre de ressources TVB au second semestre
- Parution d'un guide technique Trame noire à destination des acteurs opérationnels

MERCI DE VOTRE ATTENTION