



POLLUTION LUMINEUSE ET BIODIVERSITÉ :

COMMENT METTRE EN ŒUVRE UNE TRAME NOIRE ?

Romain Sordello

Chef de projet
Pollution lumineuse
& Trame verte et bleue

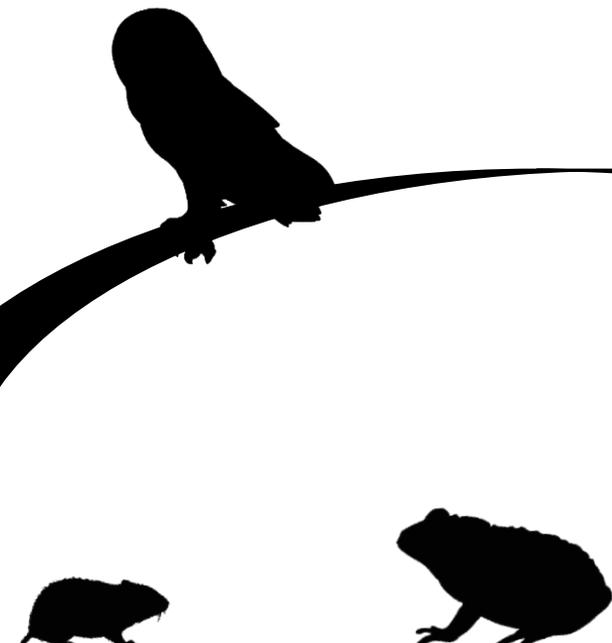


AGENCE RÉGIONALE
DE LA BIODIVERSITÉ

IAU

île de France

Paris – 20/06/2019



La biodiversité

La diversité du vivant à ses différents niveaux



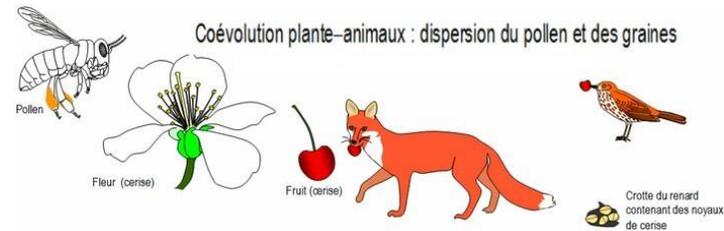
La biodiversité

Avec différentes dimensions

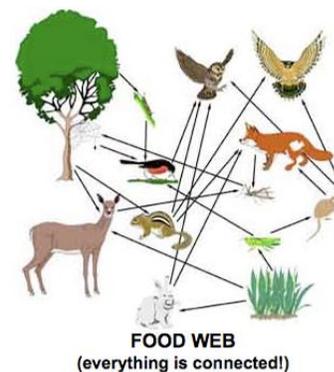
Quelles espèces ?



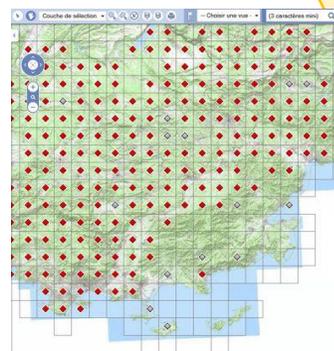
COMPOSITION



FONCTIONNEMENT



RÉPARTITION



Comment interagissent-elles ?

Où vivent-elles ?

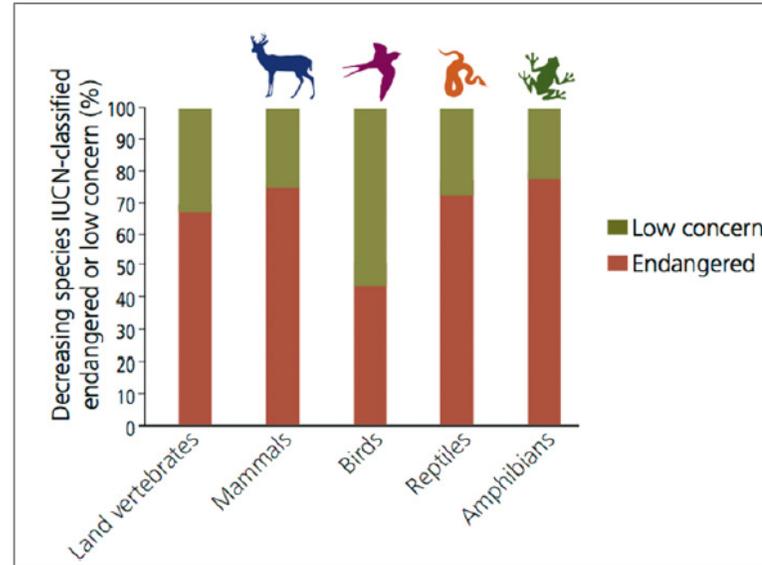
La biodiversité En pleine érosion

Des espèces qui disparaissent 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), plus d'insectes dans 100 ans ? (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019)

...Homogénéisation des communautés à la faveur des espèces généralistes



1 million d'espèces menacées de disparition !



World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice



Une 6^{ème} extinction de masse...cette fois-ci elle est d'origine anthropique !

Plusieurs causes sont identifiées Dont la pollution lumineuse !

Un phénomène largement sous-estimé jusqu'à présent

Mais une réelle prise de conscience actuellement

Libération

Pollution lumineuse : «Les oiseaux sont totalement désorientés dès lors qu'ils s'approchent de n...»

LE FIL VERT

Pollution lumineuse : «Les oiseaux sont totalement désorientés dès lors qu'ils s'approchent de nos villes»

Par Matilde Meslin — 9 avril 2019 à 11:46

Le Journal du Dimanche

POLITIQUE SOCIÉTÉ INTERNATIONAL ECO PARIS CULTURE SPORT

Pollution lumineuse : partout, la nuit recule

04h10, le 26 juin 2016, modifié à 10h31, le 21 juin 2017

Par Juliette Demey

Marianne

Le Fil Vert

Les dégâts de la pollution lumineuse

Par Hubert Prolongeau

Publié le 29/10/2018 à 11:00

L'Express

ACTUALITÉ ÉCONOMIE FINANCES PERSO ENTREPRISE EMPLOI STYLES TENDANCES VIDÉOS CODES PROMO

ACTUALITÉ

Pourquoi la lumière artificielle la nuit est dangereuse

Par Marie Simon, publié le 10/10/2015 à 18:03

THÈMES VIDÉOS & PODCASTS MAGAZINE DU MOIS PAROLES D'EXPERTS DOSSIERS ARCHIVES

La pollution lumineuse est-elle totale ?

ID L'info durable. #Tous

Rechercher une info ou une solution OK | f t y in | Se connecter

ENVIRONNEMENT SOCIAL

Les humains ne sont pas les seuls à être touchés par la pollution lumineuse

Les animaux et les insectes y sont aussi sensibles.

ENVIRONNEMENT

Lutte contre la pollution lumineuse : coup de projecteur sur un combat éclairé

LADEPECHE.fr

En direct 20

MA VILLE FRANCE-MONDE FAITS DIVERS SPORT ÉCO TV-PEOPLE

Mettre en lumière la pollution lumineuse

LADEPECHE.fr

En direct 20

MA VILLE FRANCE-MONDE FAITS DIVERS SPORT ÉCO TV-PEOPLE

Pollution lumineuse : un fléau grandissant

magazine GOODPLANET INFO

ACTUALITÉS OPINIONS AGIR ENCYCLOPÉDIE PHOTOS VIDÉOS

Comment lutter contre la pollution lumineuse ?

Publié le : 29/05/2019
Last updated: 29/05/2019 17h05

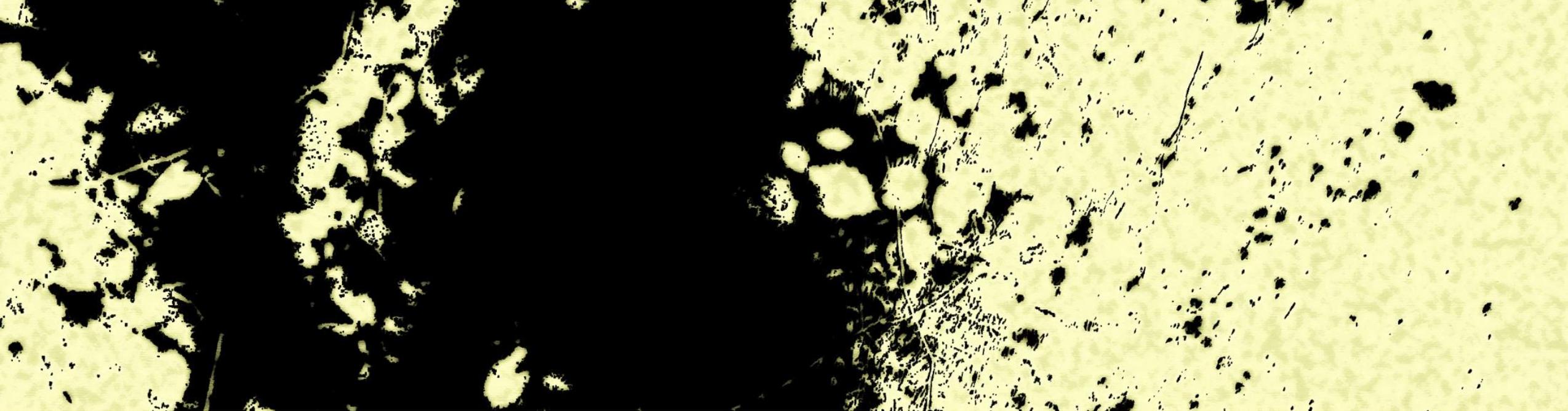
La biodiversité la nuit

L'éclairage artificiel nocturne

Les effets sur la biodiversité

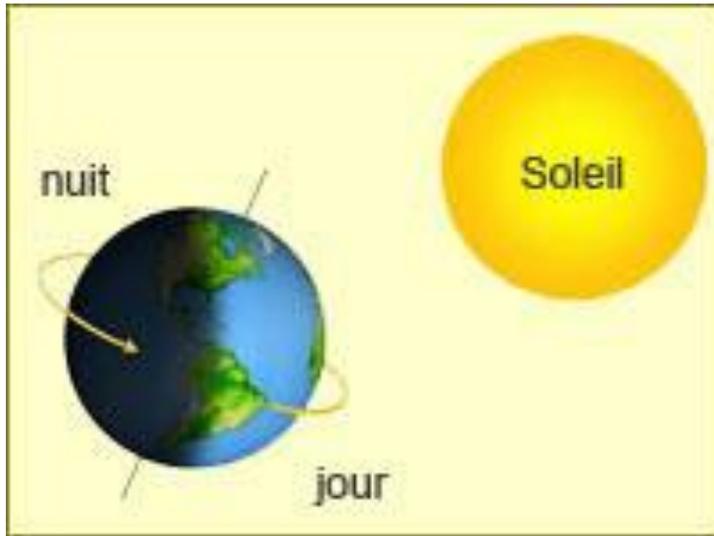
Comment agir ?

De la trame verte et bleue à la trame noire

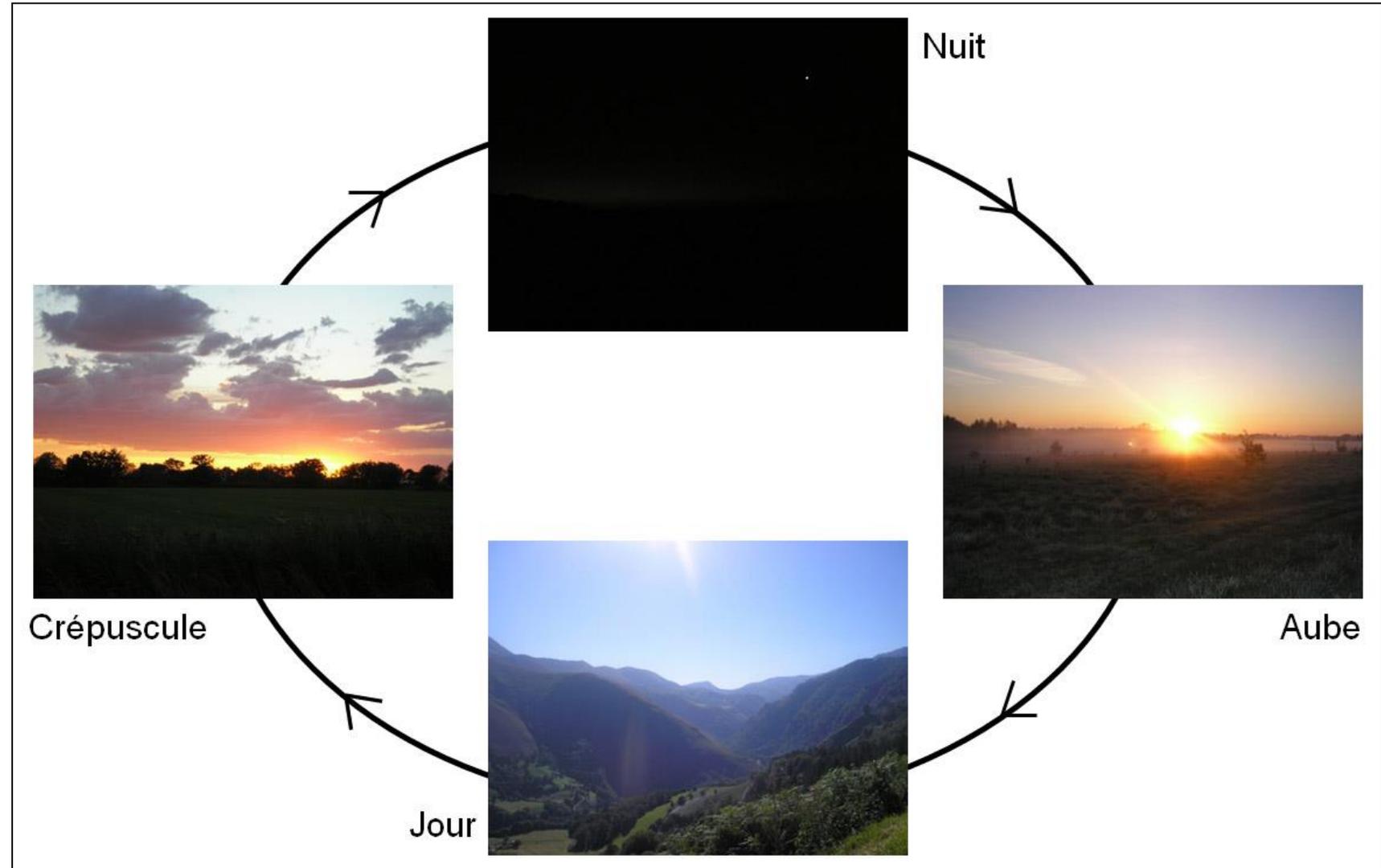


LA BIODIVERSITÉ LA NUIT

Pourquoi et comment il fait nuit ?



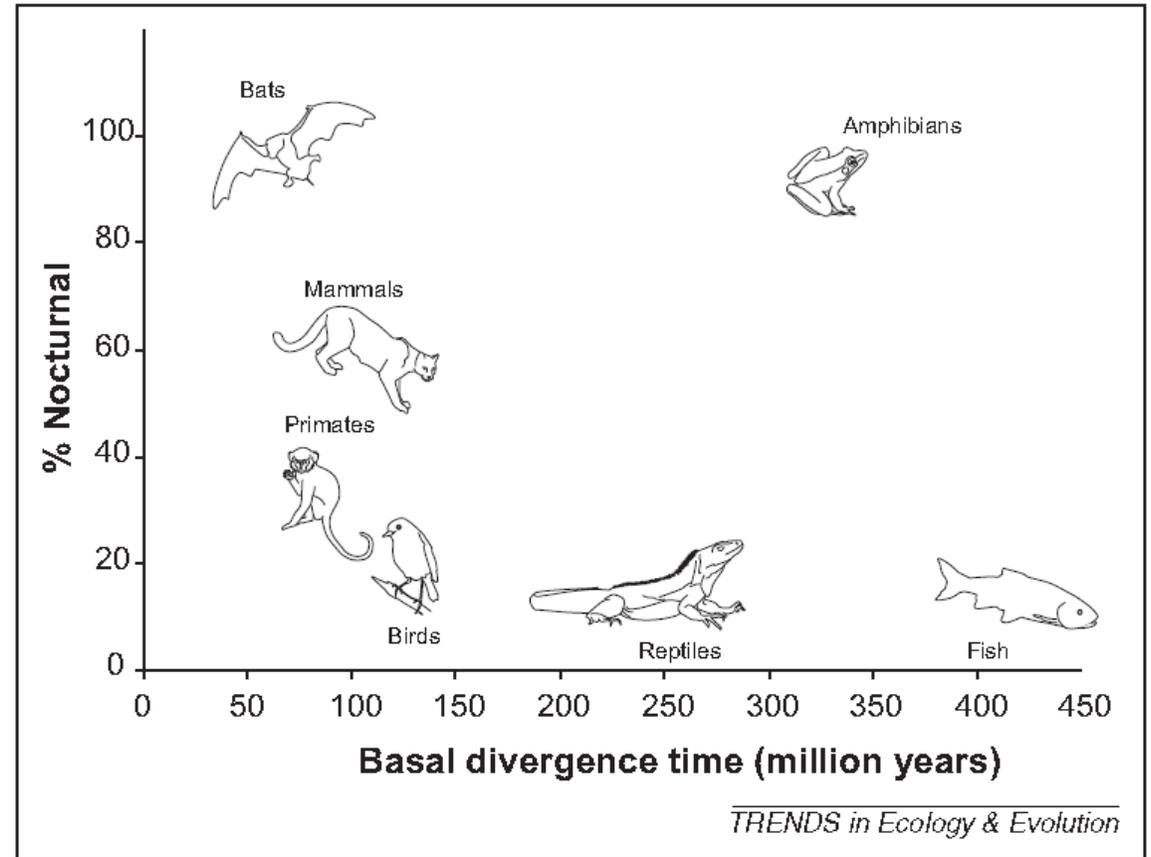
Une alternance naturelle et continue de jour et de nuit



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

28 % des vertébrés et #
64 % des invertébrés
vivent partiellement ou
exclusivement la nuit

=> La majorité des animaux
sont nocturnes



Holker et al. 2010



Comment vivre la nuit, dans le noir ?

Produire soi-même de la lumière = Bioluminescence



Luciole
Luciola lusitanica

Ex : Oliveira et al. 2015

Pieuvre, *Stauroteuthis syrtensis*

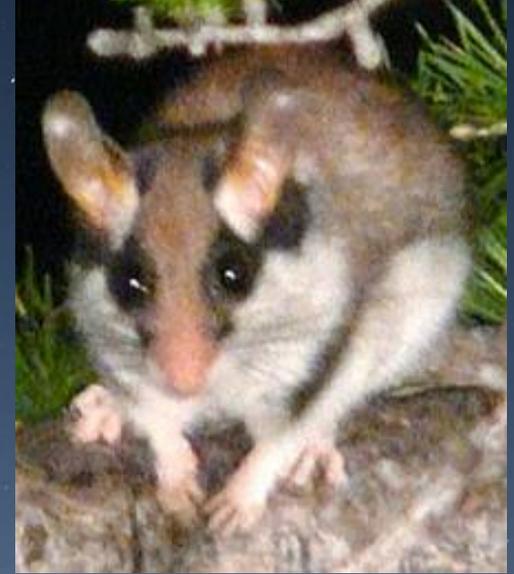
...Pour voir ou communiquer



Ver luisant, *Lampyrus noctiluca* (Photo Yikrazuul)

Optimiser la lumière naturelle nocturne

Lérot, *Eliomys quercinus*
Photo Vincent Vignon



=> Adaptations
biologiques et
morphologiques,
comportementales

Ex : Veilleux & Cummings 2012



Tapetum lucidum

Photo R. Sordello

Gros yeux placés dans des paraboles

Photo R. Sordello

Photo Florent Dubreuil
Villagesousleetoiles.fr

Se repérer la nuit

Ex : Wiltschko et al. 1987



Fauvette des jardins,
Sylvia borin

Photo Steve Garvie

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

Ex : Mauck et al. 2008



Phoque commun, *Phoca vitulina*

Photo

Se repérer la nuit

La Voie lactée est un repère majeur la nuit

Ex : Dacke et al., 2013

Bousier, Scarabaeidae



Photo

Se repérer la nuit

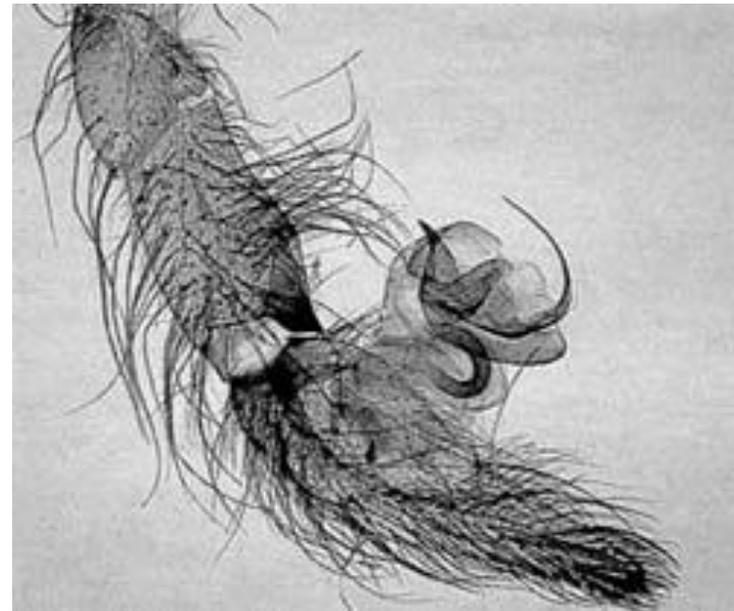
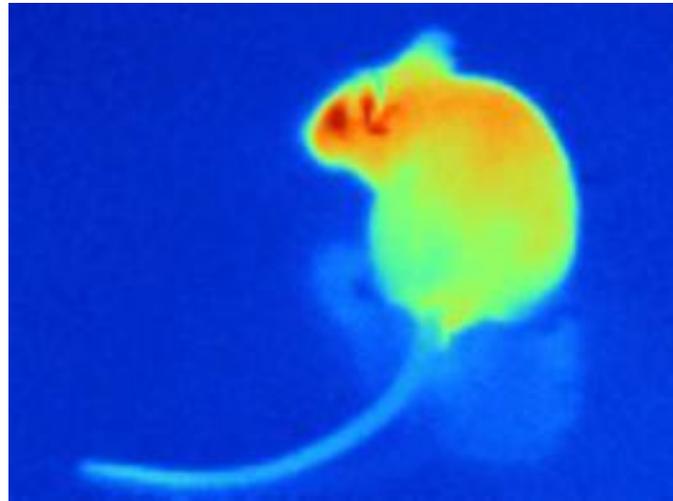
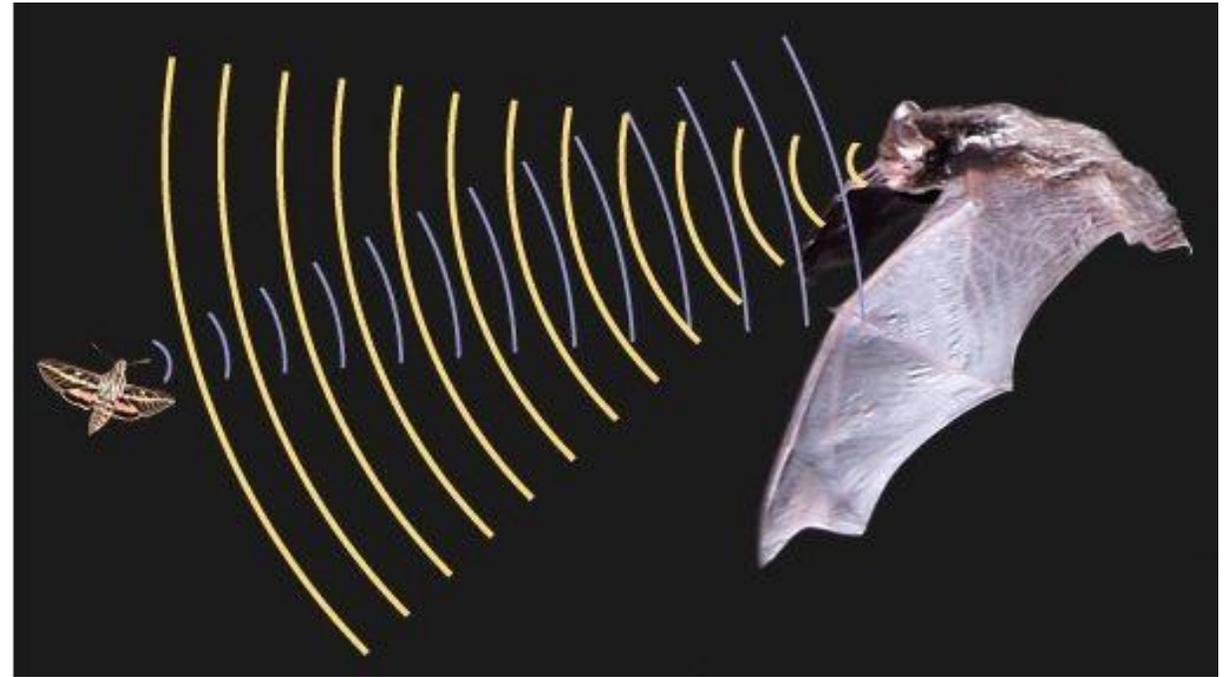
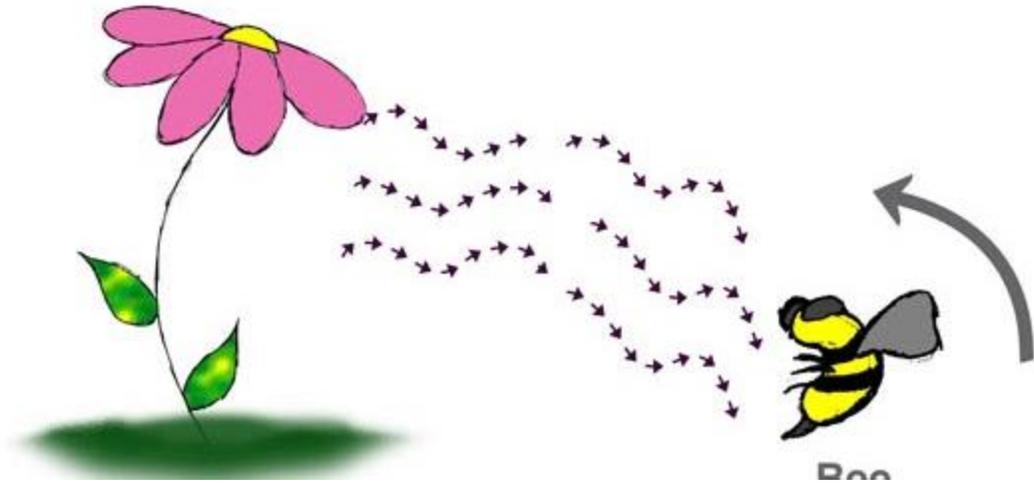
*Utilisation des contrastes comme repère
Exemple des tortues marines*

Ex : Mrosovsky & Kingsmill 1985



*Tortue caouanne, *Caretta caretta**

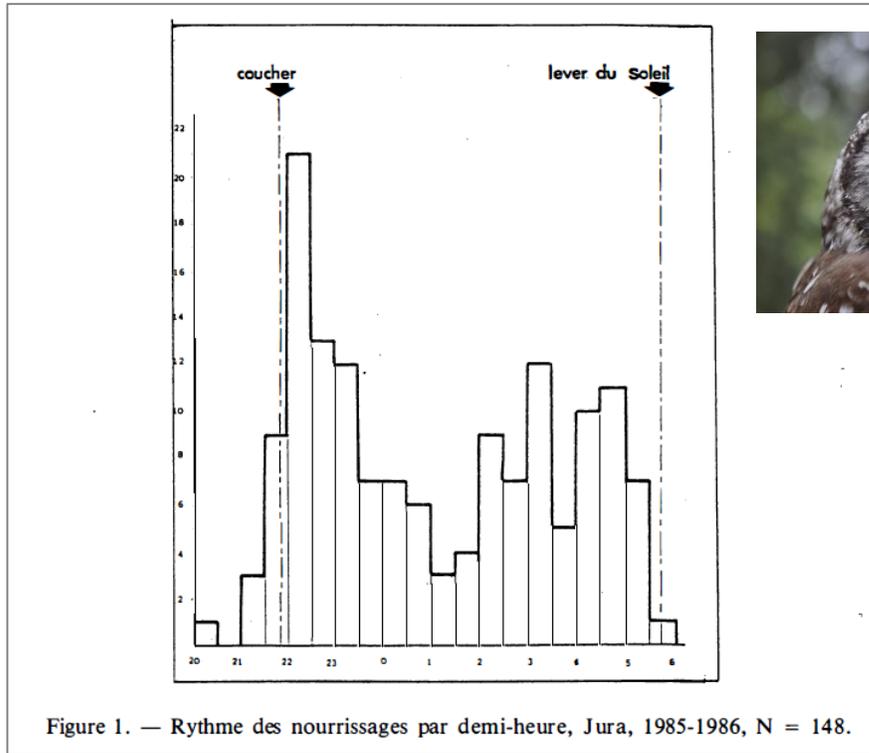
Utiliser d'autres sens



Nocturne pourquoi ? À quel point ?

Nocturne ou crépusculaire ?

- Chaque espèce possède son rythme circadien d'activité
- Parmi les espèces nocturnes, beaucoup sont en réalité crépusculaires (profil bimodal)

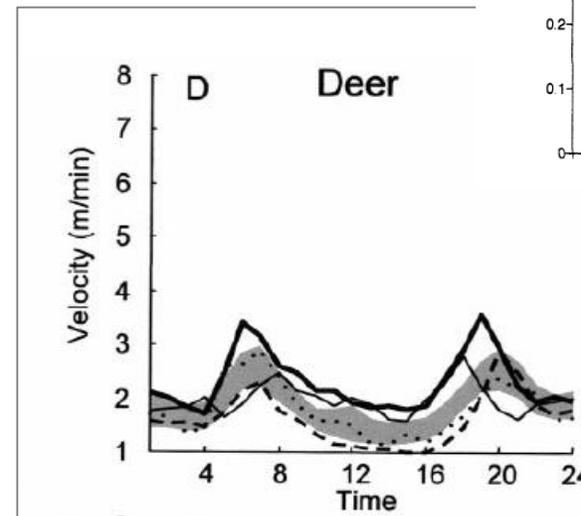
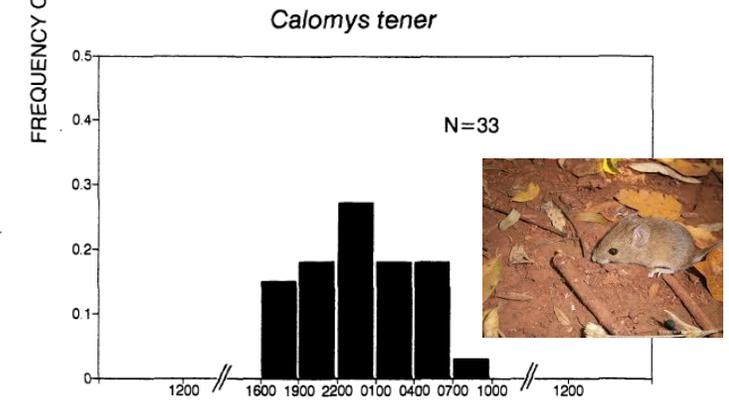
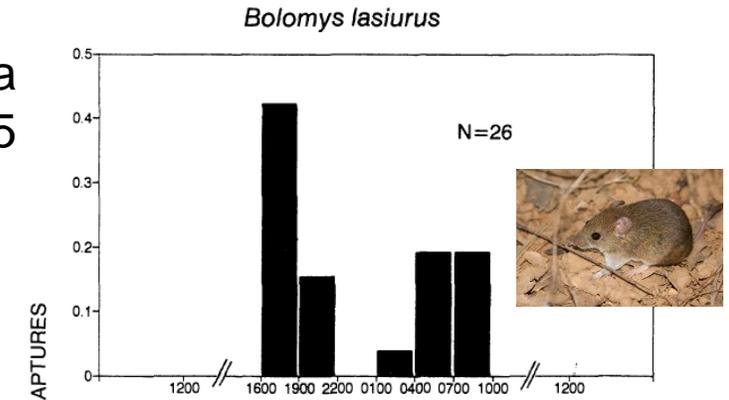


Chouette de Tengmalm *Aegolius funereus*
Jovenaiaux & Durand, 1985



Photo P.A. Ravussin

Vieira
1995



Cerf élaphe *Cervus elaphus*
Ager *et al.*, 2003



Photo P. Gourdain

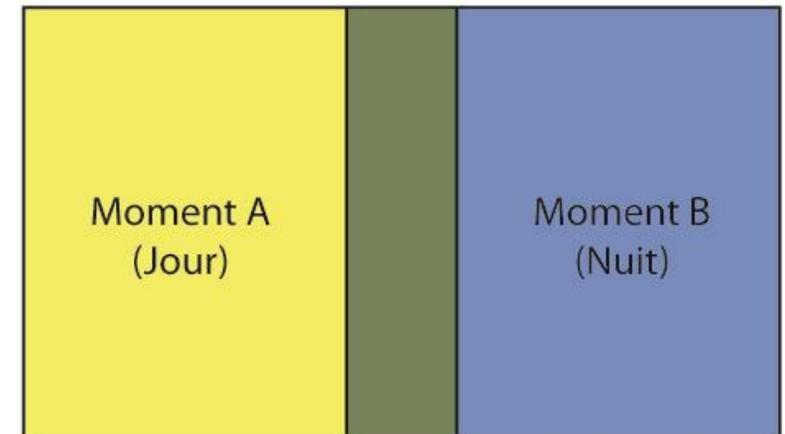
Nocturne ou crépusculaire ?

- Le dilemme de toute espèce : voir sans être vu
⇒ Les passages jour/nuit concentrent donc visiblement une partie très importante de l'activité biologique
⇒ Notion de **chronotones**
- Les transitions entre jour et nuit sont aussi les moments où l'éclairage est le plus nécessaire pour les humains
⇒ Véritable enjeu de mieux gérer l'éclairage pendant ces périodes

Sordello *et al.*, 2014



Zone de transition
(= Ecotone)



Moment de transition
crépuscule ou aube
(= Chronotone)

L'influence des variations lunaires

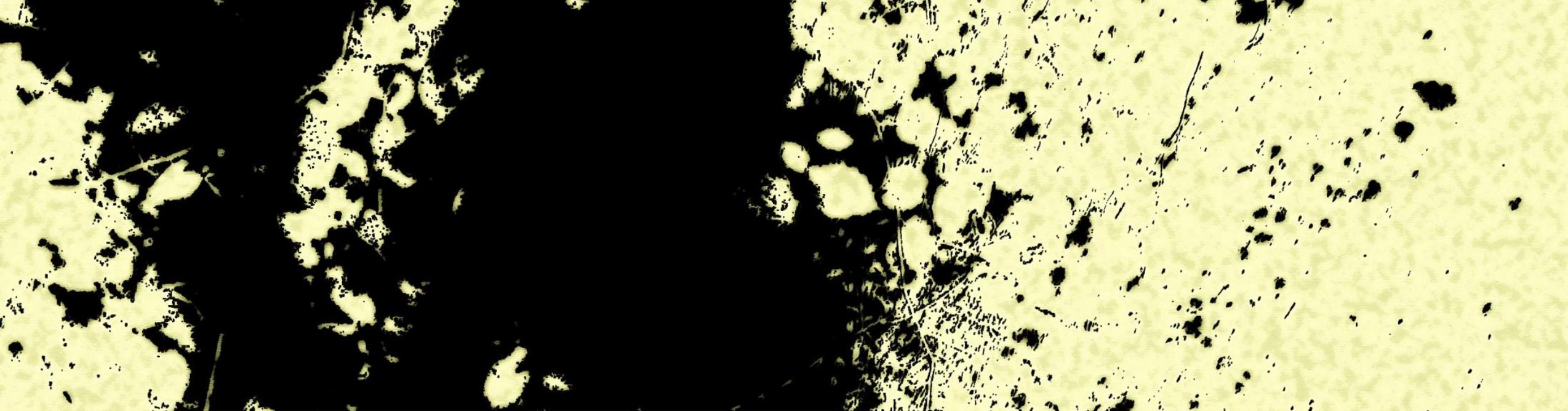


Source : http://etoiledelune.pagesperso-orange.fr/divers/phase_lune.jpg

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



L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL NOCTURNE

L'être humain : animal diurne...et ingénieux

Il produit de la lumière artificielle pour prolonger son activité sur la période de nuit

=> Bâtiments/monuments, enseignes, vitrines, éclairage public, lasers, ...

Des lumières utiles...et moins utiles.....

Catégories telles que définies par la réglementation (décret pour la prévention et la limitation des nuisances lumineuses, 2012)



a) Eclairage sécurité/confort (notamment rues)



Enseignes lumineuses



b) Monuments



e) Parcs de stationnements



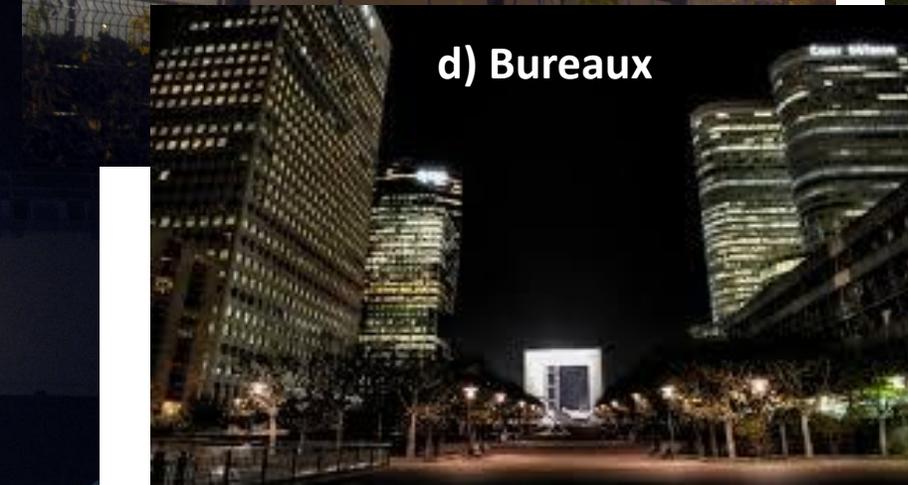
c) Structures sportives



b) Parcs et jardins



g) Chantiers



d) Bureaux



f) Evenementiels

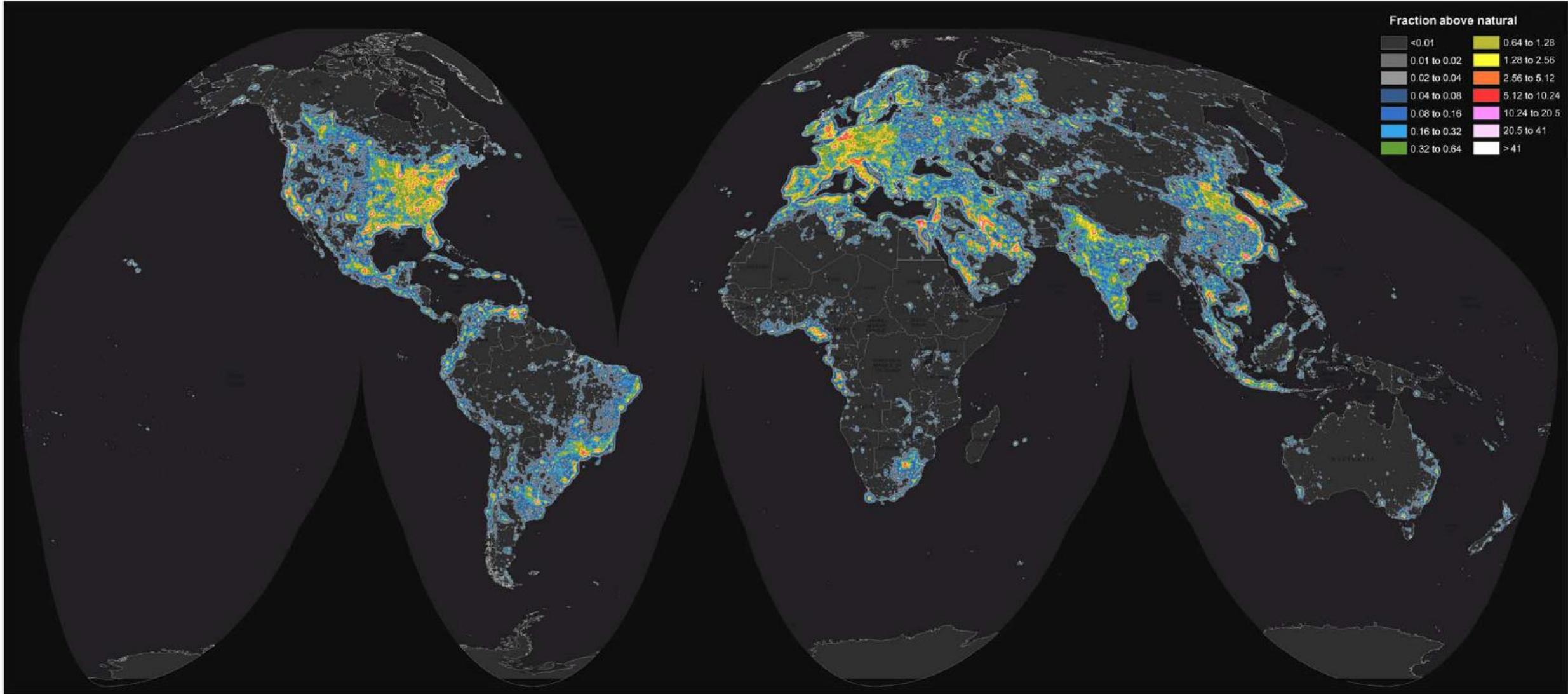






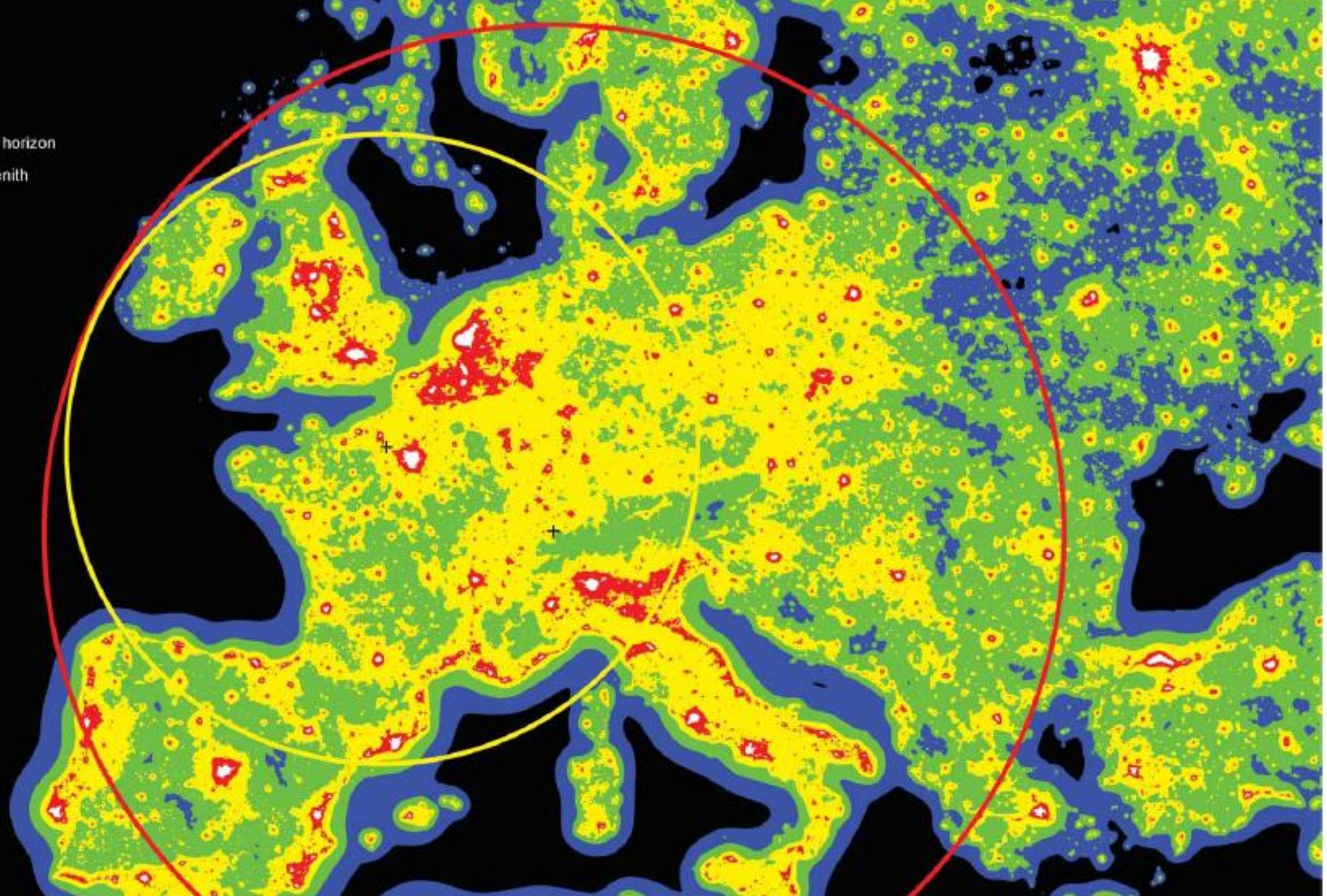
Falchi et al.,
2016

Ampleur du phénomène



Visual impacts

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



Falchi et al.,
2016

L'atlas mondial

<https://www.lightpollutionmap.info/>

Les tendances :

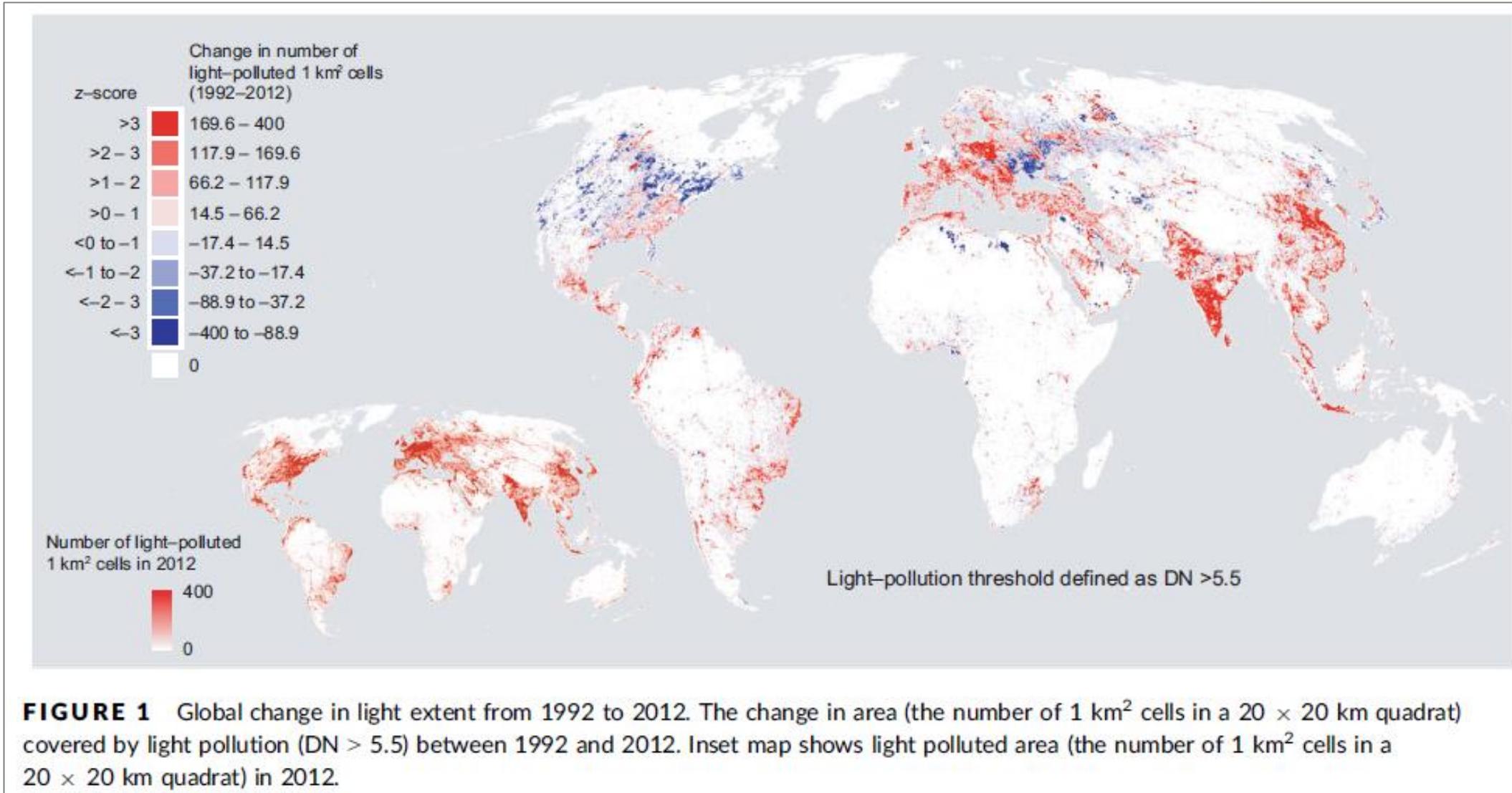
<https://lighttrends.lightpollutionmap.info/>

Une pollution en forte augmentation

Koen *et al.*, 2018

De 2012 à 2016 dans le monde :
+2.2%/an de surface éclairée
+1.8%/an de radiance

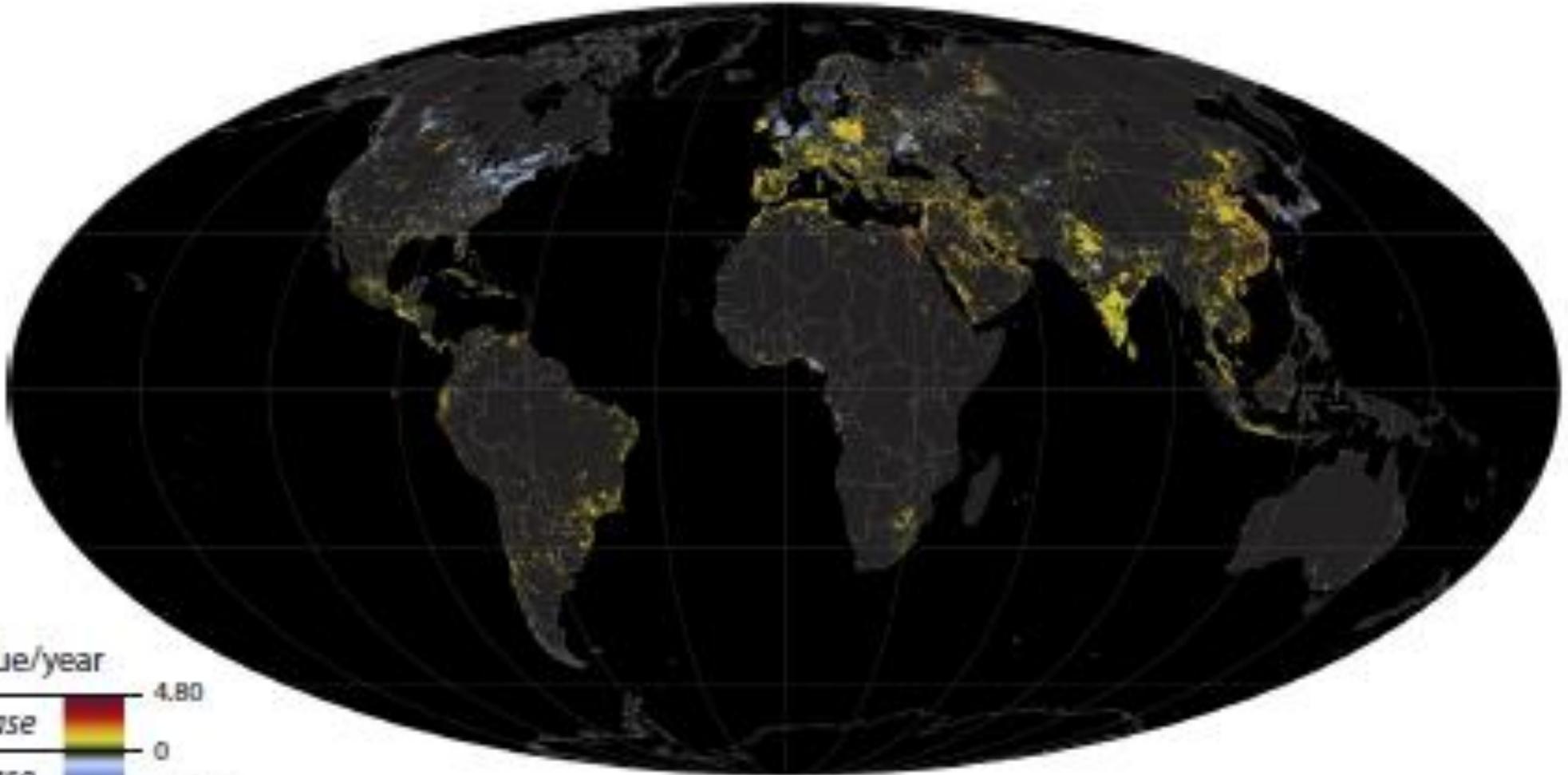
Kyba *et al.*, 2017



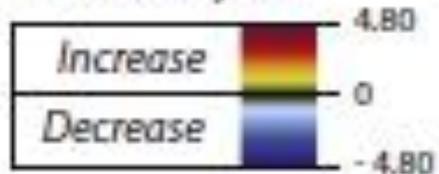
Une pollution en forte augmentation

Guetté et al., 2018

(B) Global map of the temporal trend in ALAN from 1993 to 2012

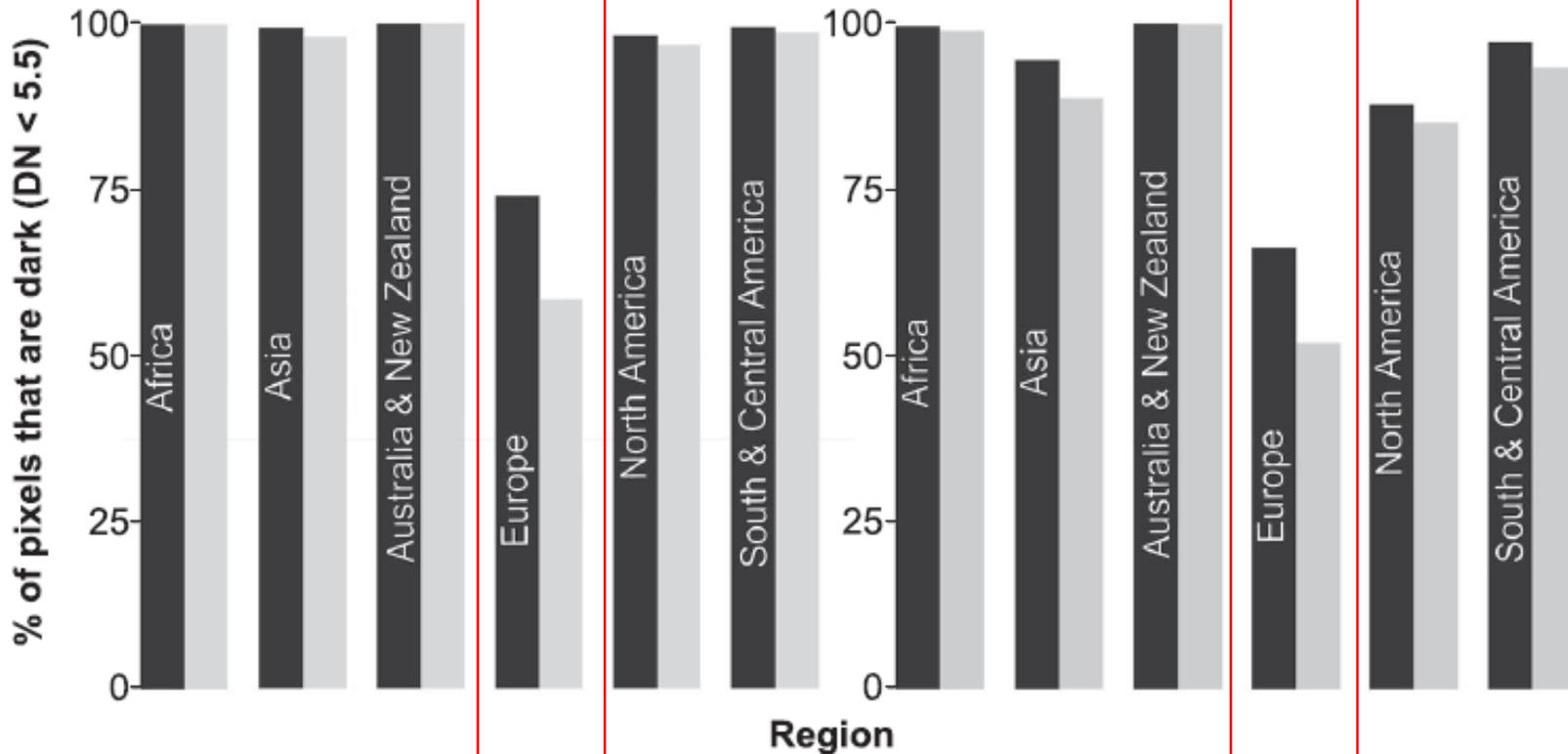


DN Value/year

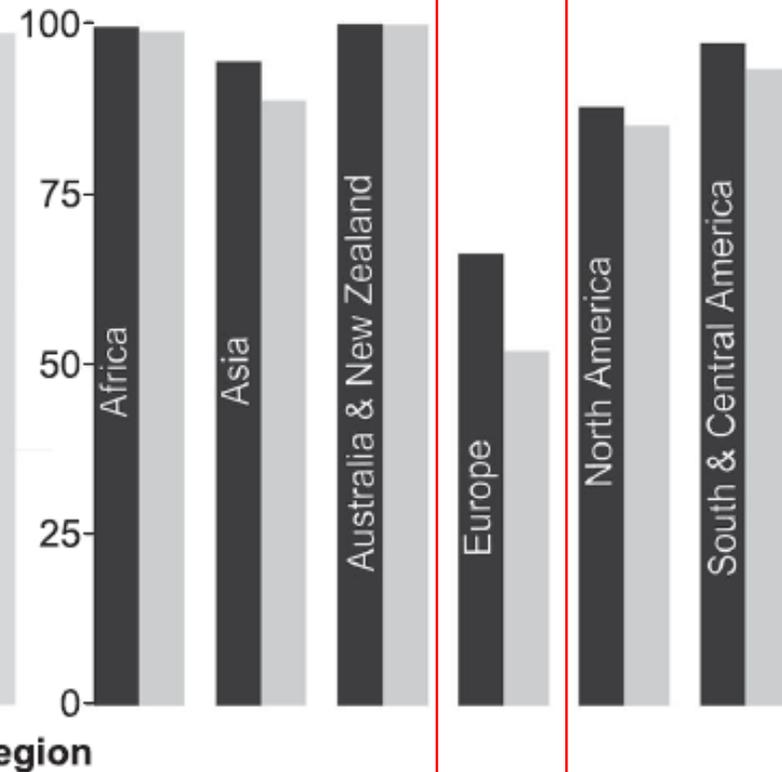


Les aires protégées et les « hot spots » de biodiversité ne sont pas épargnés

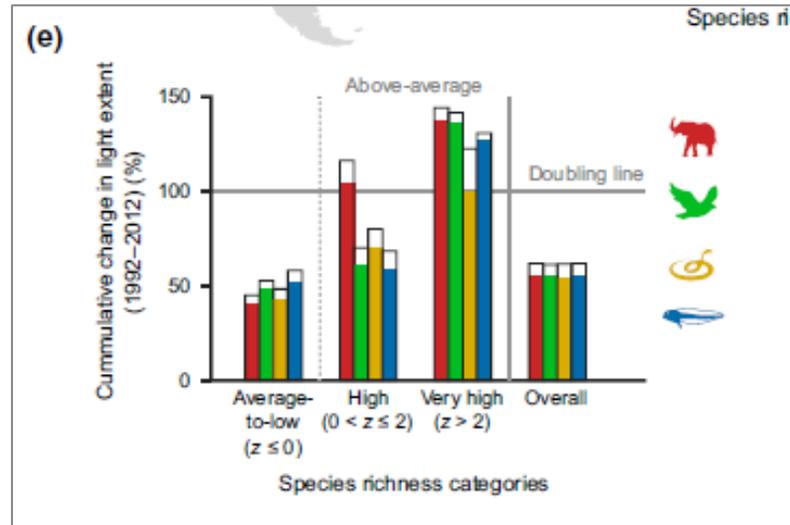
(a) Aires protégées



(b) Hors aires protégées



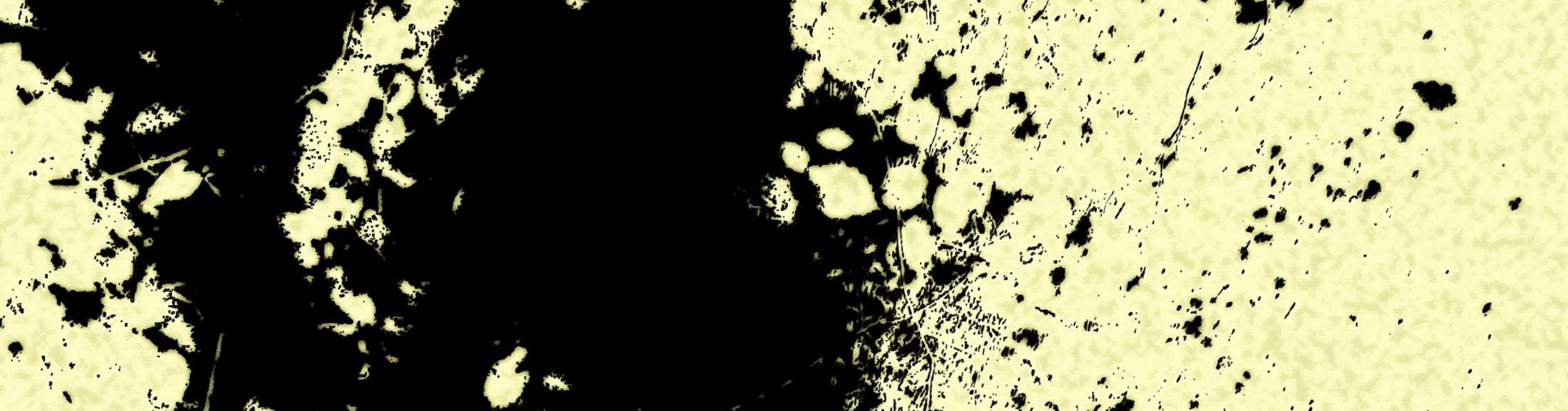
Comparaison 1992-1995 par Gaston et al., 2015



Koen et al., 2018

Les aires protégées sont « pressurisées » par leur périphérie

Guetté et al., 2018



EFFETS SUR LA BIODIVERSITÉ

Des publications croissantes depuis plus d'un siècle

1900

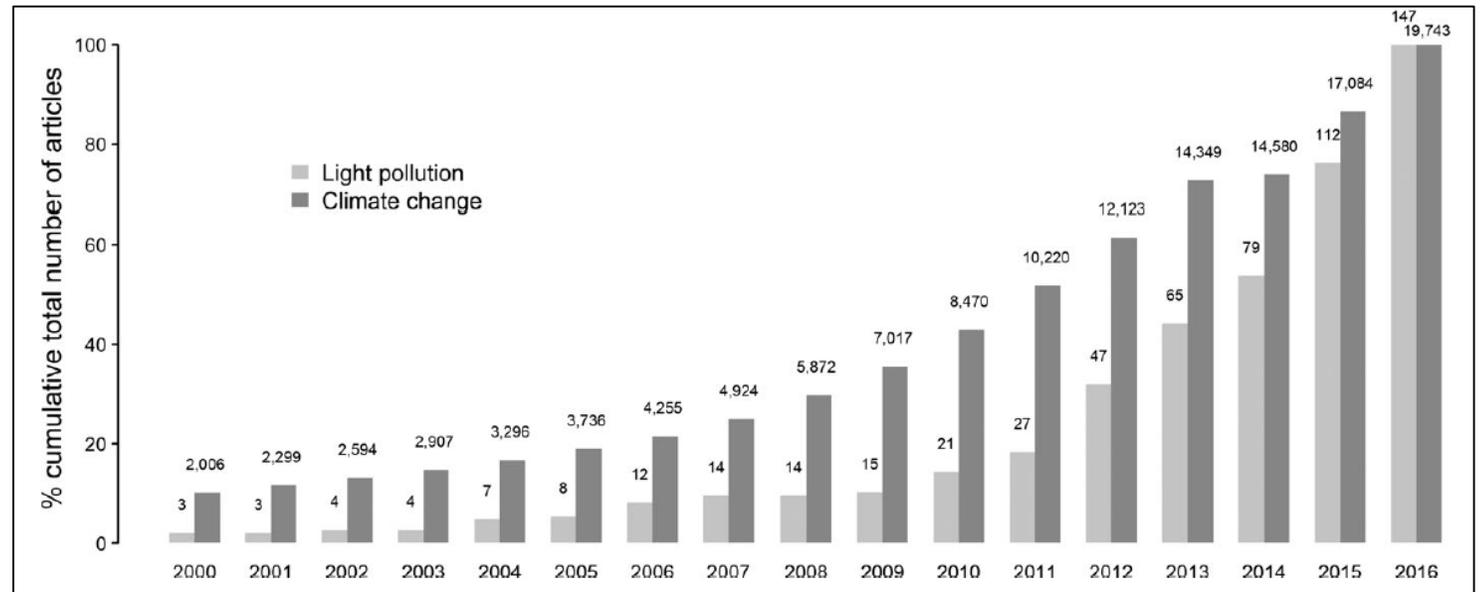
Premiers constats naturalistes (arbres en ville, collisions d'oiseaux)

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, ...)

2019



Davies & Smith, 2017

Des besoins de connaissances :

- groupes sous-étudiés
- fondamentales et opérationnelles
- revues systématiques



Eblouissement

Le mécanisme de base : le **phototactisme**

-

+

Une action à distance !

Répulsion

Attraction

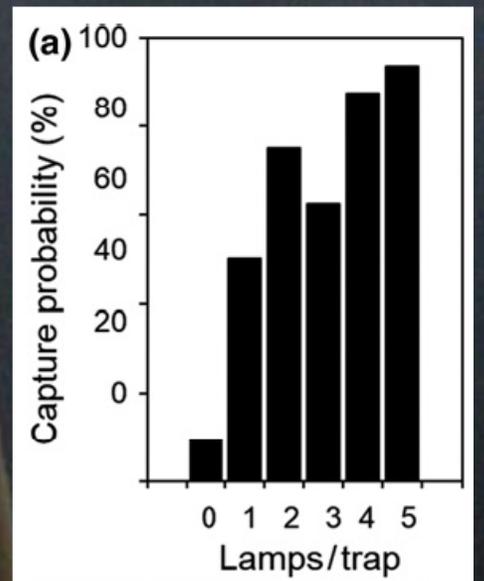
Attraction, désorientation, collisions

=> *effets démographiques*
Pièges écologiques

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

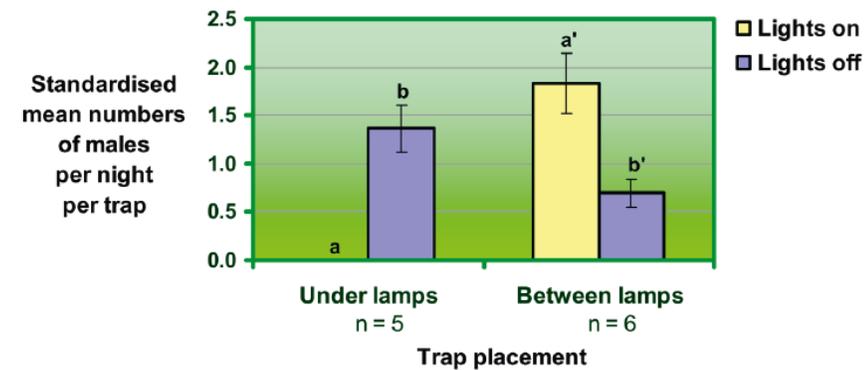


Figure 3 Standardised mean numbers (\pm S.E.) of *L. noctiluca* males captured per night per trap under and between street lamps when lamps were switched on or switched off. Means with the same letter within trap placement categories were not significantly different (paired t-test, $P \leq 0.005$).

Ineichen &
Ruettimann, 2016

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



Déséquilibres populationnels Rapports proies/prédateurs

*Ex : Willimott et al., 2019, Minnaar et al. 2014,
Decandido & Allen 2006*

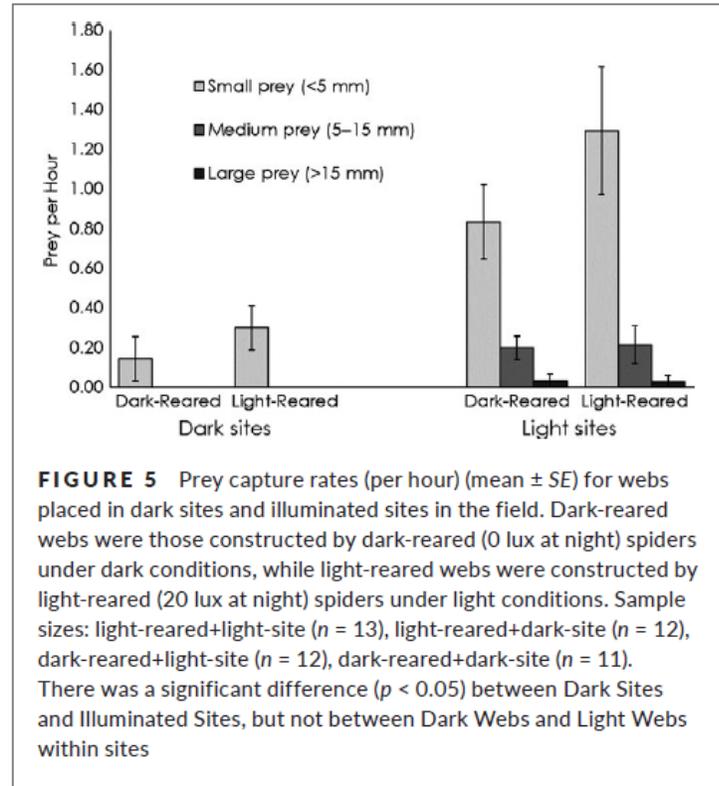
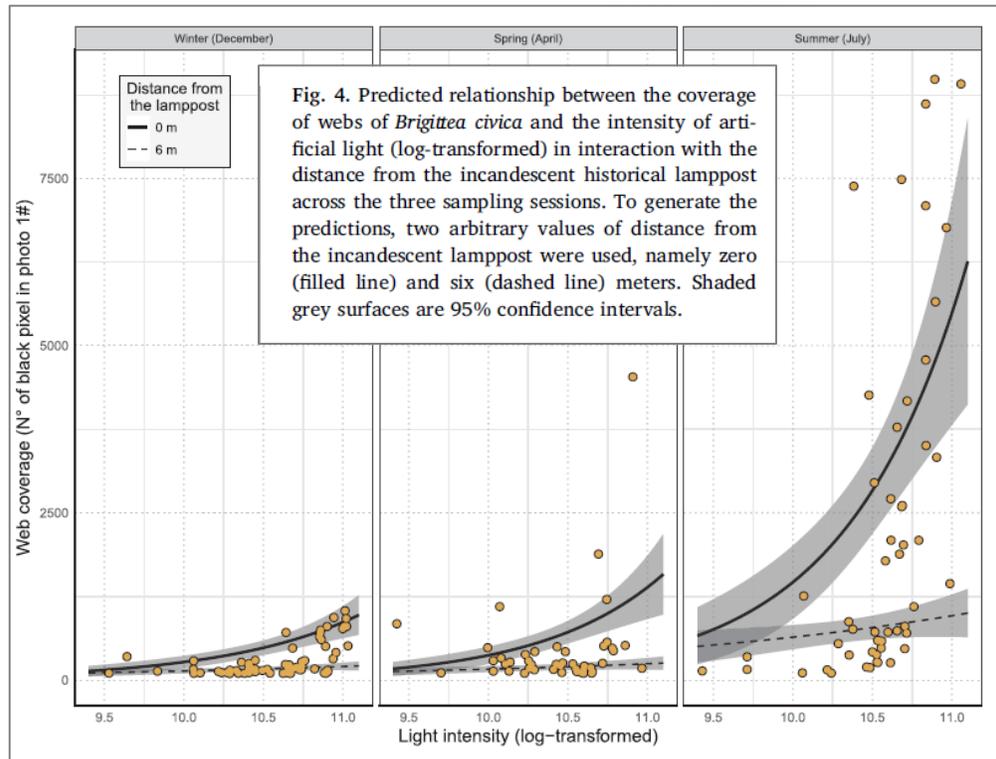
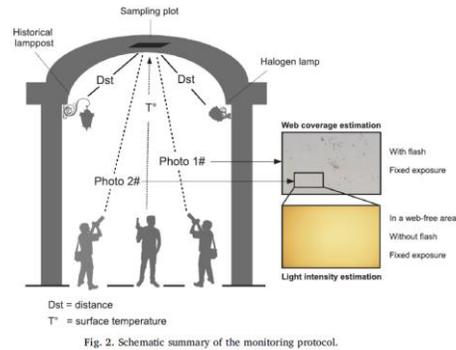




Araignées

Davantage de toiles d'araignées

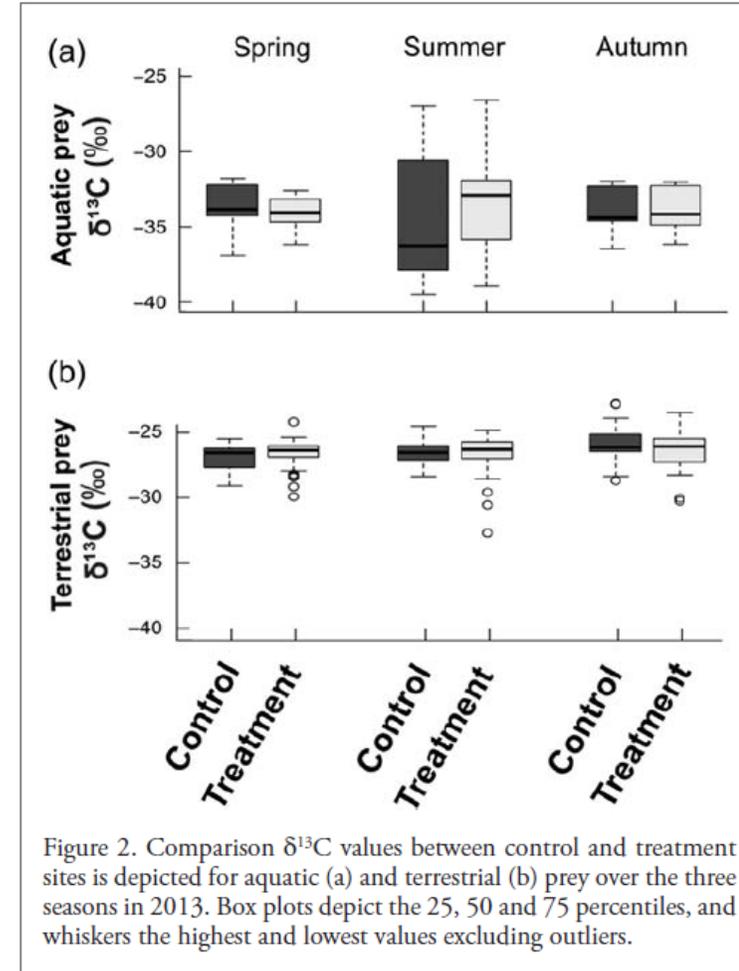
Mammola *et al.*, 2019



Willmott *et al.*, 2019

Davantage de proies capturées

Des changements de régimes alimentaires



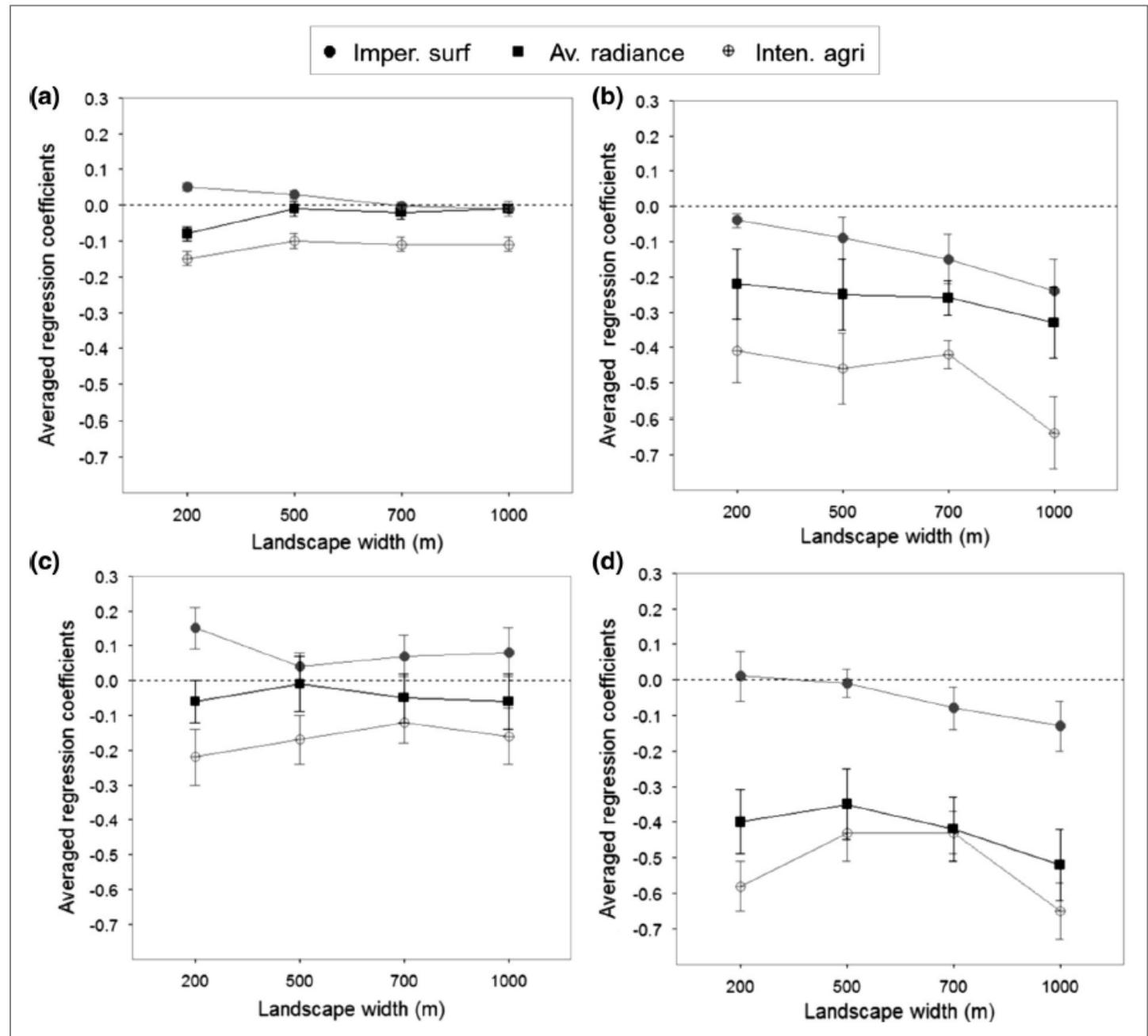
Manfrin *et al.*, 2018

Les chauves-souris ne sont pas favorisées par la lumière artificielle

A large échelle, la lumière artificielle est une contrainte pour toutes les chauves-souris

A l'échelle nationale l'effet est même supérieur à l'imperméabilisation des sols
Azam et al. 2016

Mêmes résultats à l'échelle d'une métropole (ex : Paris)
Pauwels et al., 2019



Déséquilibres populationnels

Rapports plantes/animaux

90% des angiospermes sont pollinisés
par des insectes

Co-évolution plantes/insectes

Baisse de la pollinisation

Ex : Knop et al. 2017, Mac Gregor et al. 2016

=> Baisse succès reproducteur des
plantes = diminution du brassage
génétique et viabilité des populations
végétales

=> Diminution des services rendus aux
sociétés humaines (ex : agriculture)

Ex : Lewancik & Voigt (dispersion par chauves-souris)



Fragmentation et mitage nocturne

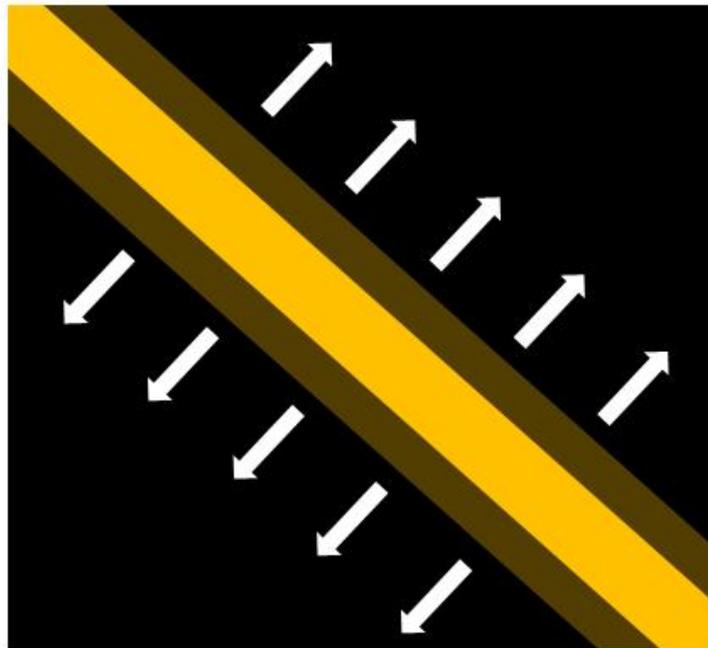
An aerial night photograph of a city, showing a dense network of lights. The lights are fragmented into distinct, winding paths and clusters, illustrating the concept of 'fragmentation and night fragmentation'. The overall scene is dark, with the city lights providing the primary illumination.

Visuellement évident

Un effet barrière désormais démontré

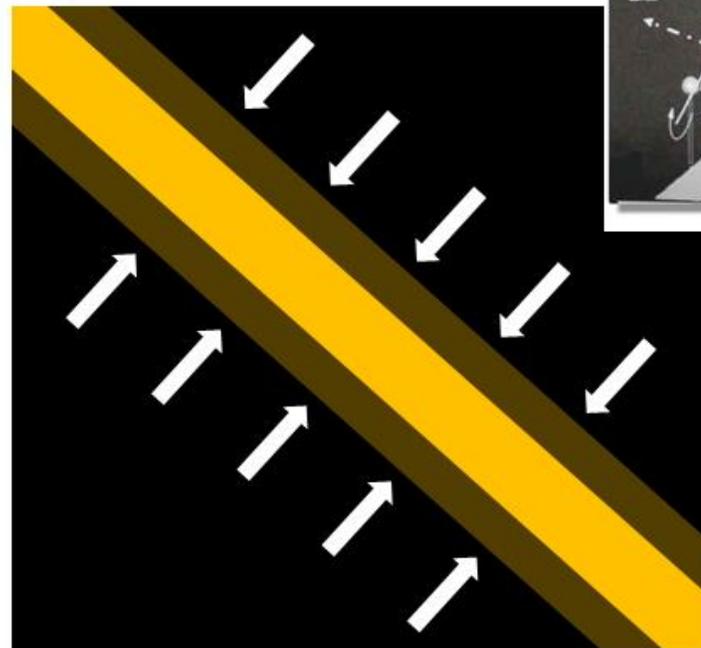
Sordello et al., 2014; Sordello, 2017 BSNL

Fragmentation par répulsion

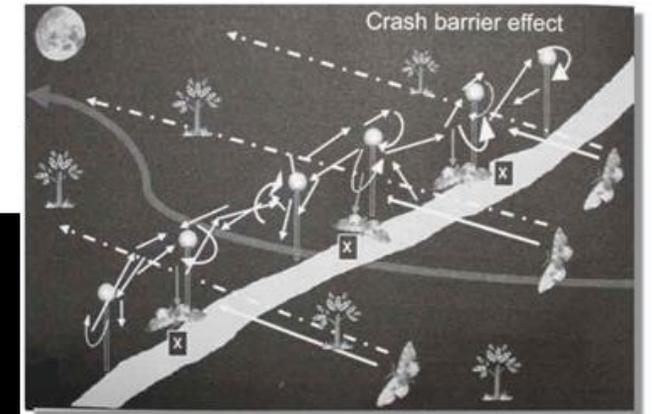


Mammifères terrestres : Bliss-Kecthum et al., 2016
Amphibiens : Van Grunsven et al., 2017

Fragmentation par absorption



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



« Sky Glow » et Perte des repères

Ex : Thums et al. 2016

Disparition de la carte céleste, Inversion du
contraste terre/mer

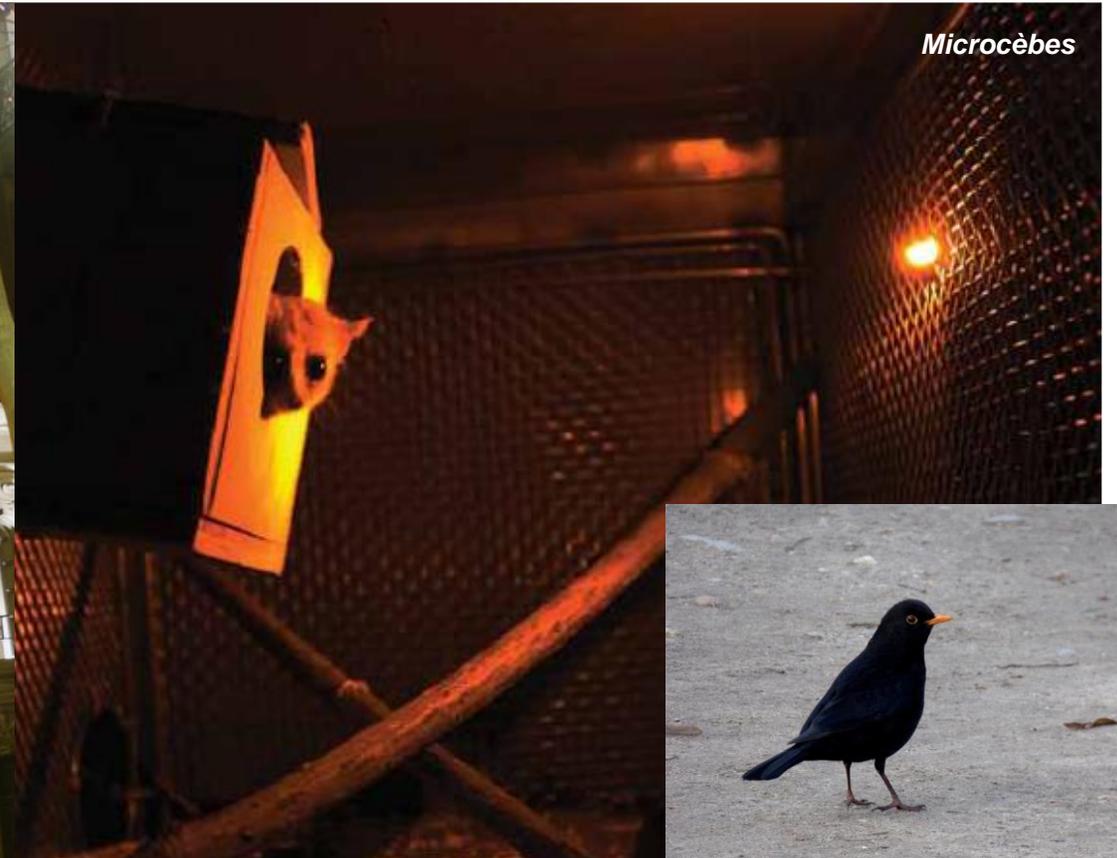


La lumière artificielle perturbe les cycles de vie

chez la flore

et

chez la faune



Ex : Ffrench-Constant et al. 2016

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

Des impacts pour des quantités infimes de lumière

Table 3. Examples of the levels at which nighttime lighting has been observed to have biological effects

Species	Setting	Effect	Nighttime lighting	Source
Barréd owl <i>Strix varia</i>	Lab	Location of prey	1.6×10^{-6} lux*	Dire (1945)
Long eared owl <i>Asio wilsonianus</i>	2.7×10^{-6} lux*	...
Barn owl <i>Tyto alba</i>	5.7×10^{-6} lux*	...
Burrowing owl <i>Speotyto cunicularia</i>	2.8×10^{-4} lux*	...
Common toad <i>Bombina orientalis</i>	Lab	Increased prey detection	2.8×10^{-4} lux (constant)	Larsen & Pedersen (1982)
Syrian hamster <i>Mesocricetus auratus</i>	Lab	Altered circadian rhythm	0.01 lux (constant)	Evans <i>et al.</i> (2007a)
Salmon <i>Salmo salar</i>	Lab	Increased prey detection	0.01 – 5 lux (constant)	Metcalf <i>et al.</i> (1997)
Fruitfly <i>Drosophila melanogaster</i>	Lab	Increased activity levels and shifted typical morning and evening activity peaks into night	0.03 lux (constant)	Bachleitner <i>et al.</i> (2007)
Brown rat <i>Rattus norvegicus</i>	Lab	Increased rates of tumor growth and metabolism	0.2 lux (constant)	Dauchy <i>et al.</i> (1997)
Brown rat <i>Rattus norvegicus</i>	Lab	Increased rate of tumor growth	0.21 lux (constant)	Cos <i>et al.</i> (2006)
Ringed plover <i>Charadrius hiaticula</i>	Field experiment	Higher prey intake	0.74 lux (constant)	Santos <i>et al.</i> (2010)

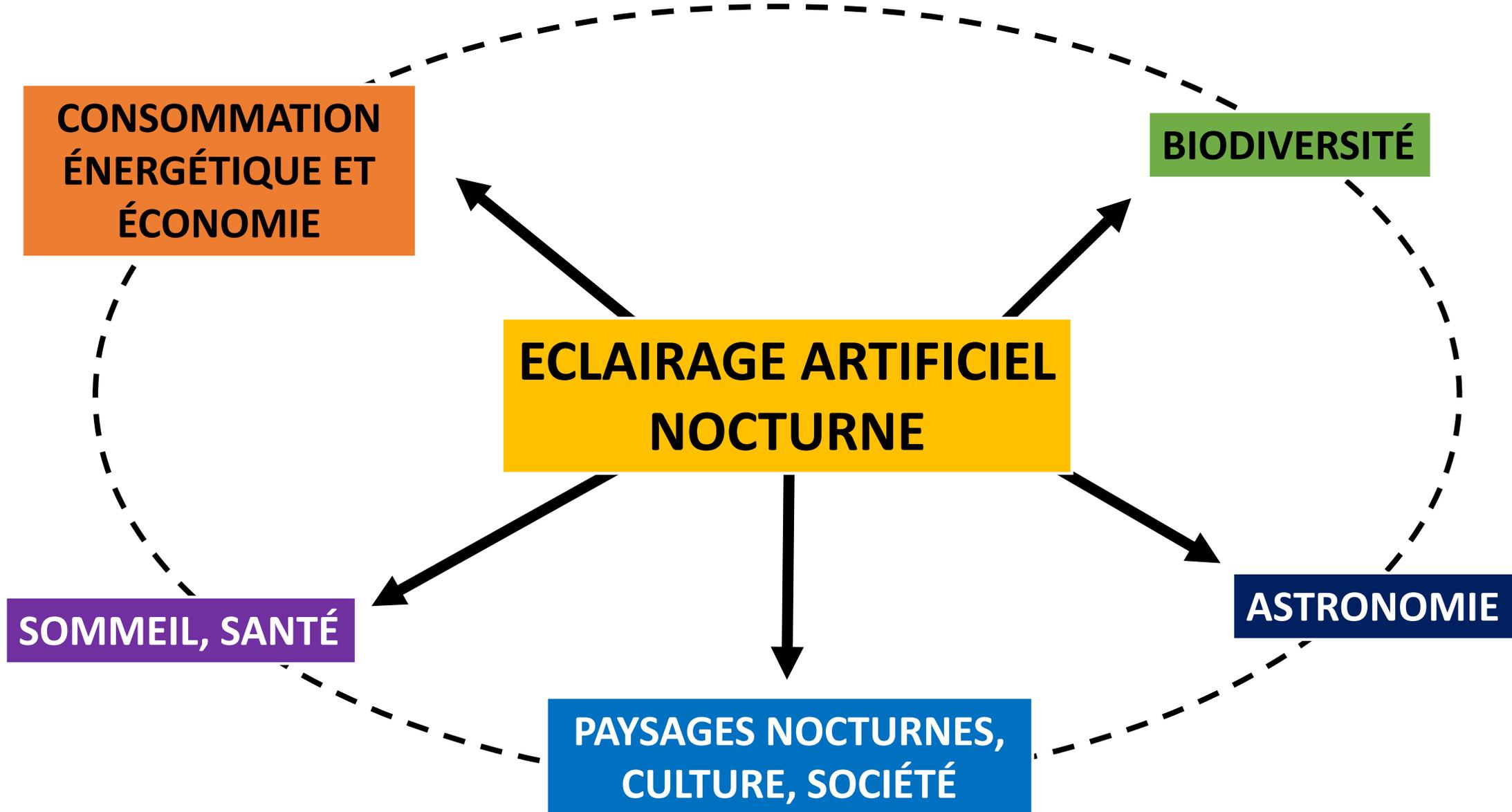
Au final la pollution lumineuse est un problème multiforme

- 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

Un sujet transversal



Ciel étoilé / Astronomie

Un tiers de l'Humanité ne voit plus la Voie lactée



Photo R. Sordello

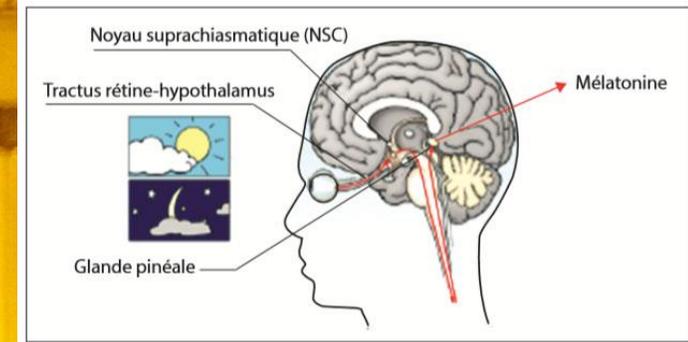
Economique

Cout de la maintenance et de l'électricité

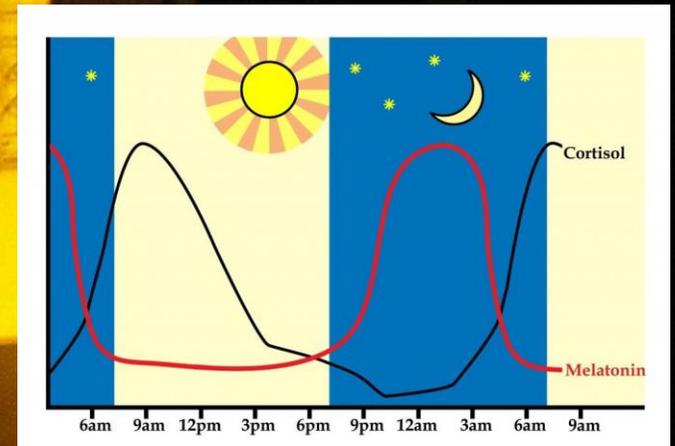
Eclairage extérieur = **40% de la facture**
énergétique des collectivités

Services rendus par la biodiversité nocturne

Sommeil / Santé humaine

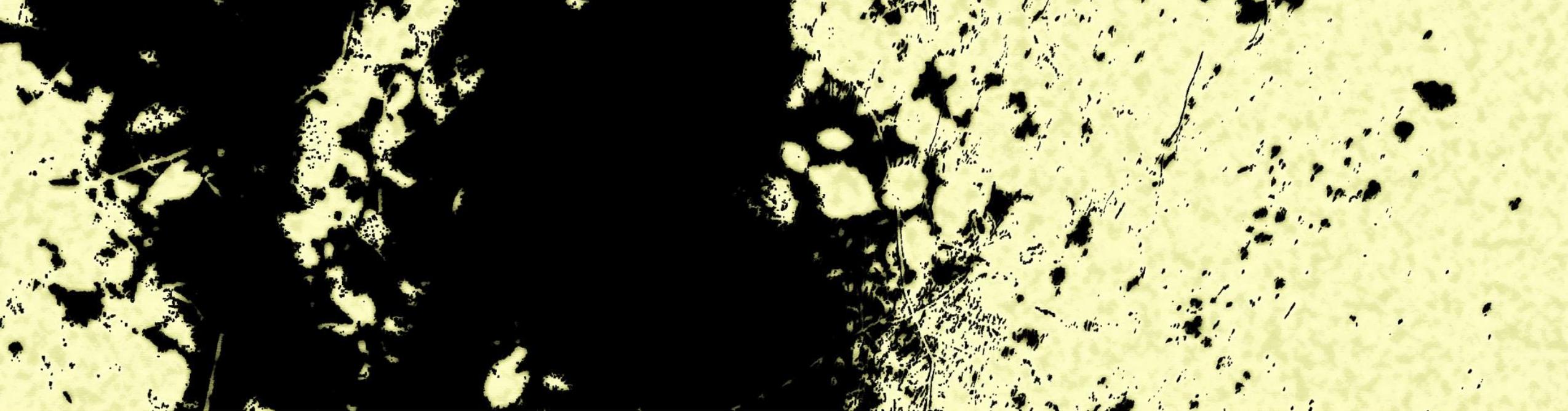


Lumières intrusives



Ex : Erren et al. 2016, Cho et al. 2015, Haim & Zudibat 2015

Photo R. Sordello



COMMENT AGIR ?
DE LA TRAME VERTE ET
BLEUE À LA TRAME NOIRE

Grands principes

- Bonne nouvelle : la pollution lumineuse est **réversible** (pas le cas de toutes les pollutions)
=> Si on éteint, la lumière disparaît
- Pas (forcément) le cas de toutes ses conséquences en revanche (notamment sur le vivant ?)...
- S'interroger sur l'**opportunité même d'éclairer**
- **Eclairage juste**

Législation et Règlementation

Lois Grenelle 2009 et 2010

=> Intégration pour la première fois des enjeux de « nuisances lumineuses » dans le Code de l'environnement, y compris vis-à-vis de la faune et de la flore

=> Prévenir ou limiter les dangers ou troubles excessifs aux personnes et à l'environnement causés par les émissions de lumière artificielle et limiter les consommations d'énergie

Décret sur les enseignes et les publicités lumineuses



- Publié le 30/01/2012 et entré en vigueur le 01/07/2012
- **Extinction entre 1h et 6h du matin** (nuances en fonction de la taille des communes)
- **Depuis le 01/07/2018 toutes les publicités/enseignes sont concernées**
(délai de mise en conformité de 6 ans échu)

Arrêté ministériel sur les vitrines, façades et bureaux

- Publié le 25/01/2013 et entré en vigueur le 01/07/2013
- Extinction entre 1h et 7h du matin (ou 1 h après la fermeture et 1 h avant l'ouverture)
- **Désormais abrogé/remplacé** par l'arrêté ministériel du 27/12/2018 qui en reprend les dispositions



Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages du 08/08/2016

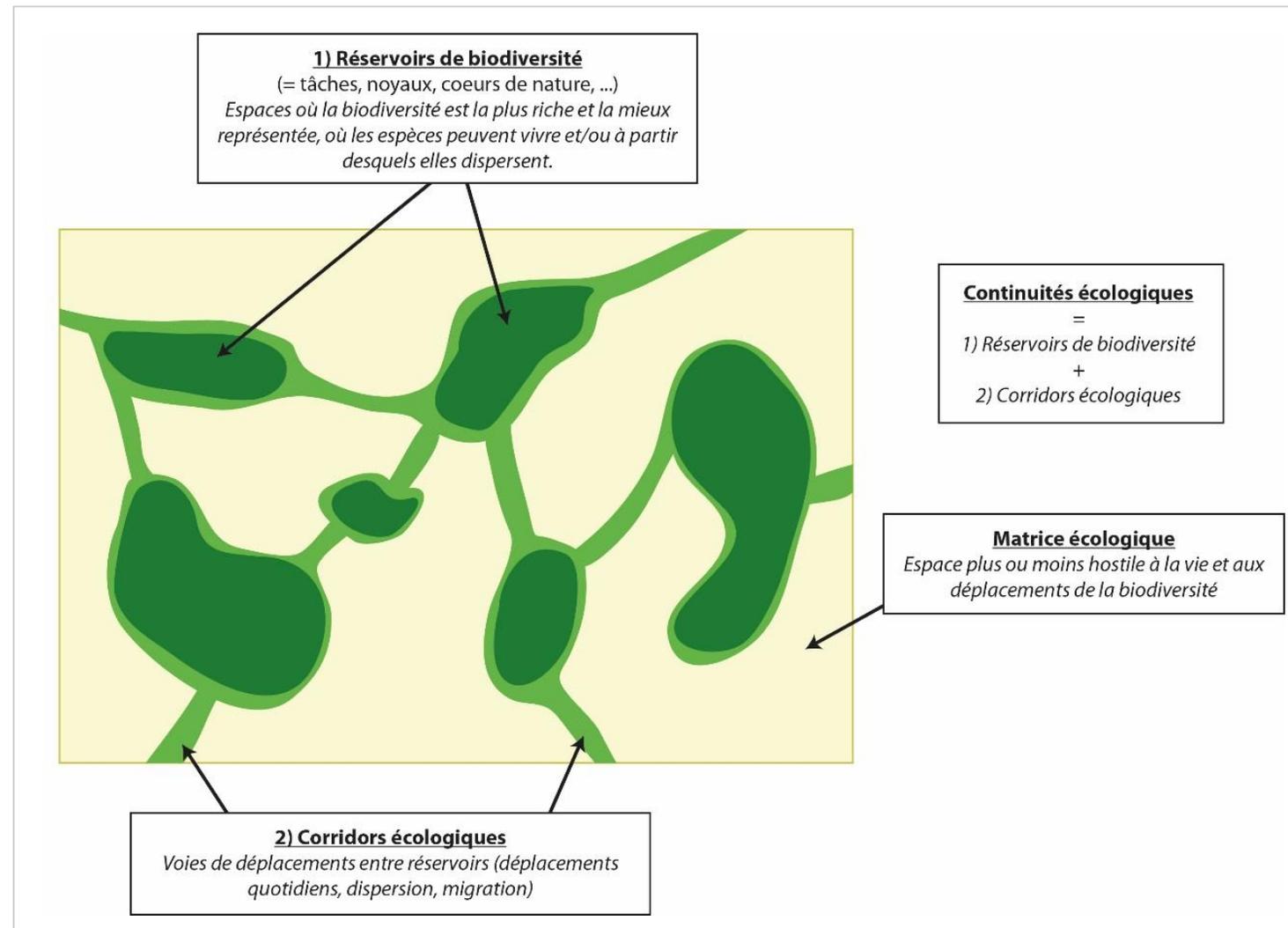
- Paysages patrimoine commun, diurnes et **nocturnes** (art. L110-1 CE)
- Devoir de protection de l'environnement **y compris nocturne** (art. L110-2 CE)
- La TVB doit prendre en compte la **gestion de la lumière artificielle la nuit** (art. L371-1 CE)
- Préservation des paysages doit prendre en compte la pollution lumineuse dans les chartes des parcs naturels régionaux (art. L350-1C CE)
- Pollution lumineuse **sous-marine** (art. L219-8 CE)

Arrêté ministériel du 27/12/2019

- Produit après contentieux d'ONG (FNE-FRPNA-ANPCEN) attaquant l'Etat
=> Décision du 28/03/18 du Conseil d'Etat enjoignant l'Etat à édicter les arrêtés complémentaires sous 9 mois
- Reprend les dispositions de l'arrêté du 25/01/2013 qu'il abroge
- Reprend les différentes catégories d'éclairage de a à g définies par le décret de 2011
/!\ Ne concerne pas les enseignes lumineuses
- Fixe des prescriptions techniques (températures de couleur, ULOR, ...) et de temporalités pour chaque catégorie en/hors agglomération
- Quelques règles générales (ex : ne pas éclairer les cours d'eau) et d'autres spécifiques pour les espaces protégés définis par le décret 2011 (ex : interdiction des canons à lumière)
- Donne des délais d'application (jusqu'à 2025 pour certaines mesures)

Les réseaux écologiques comme solution

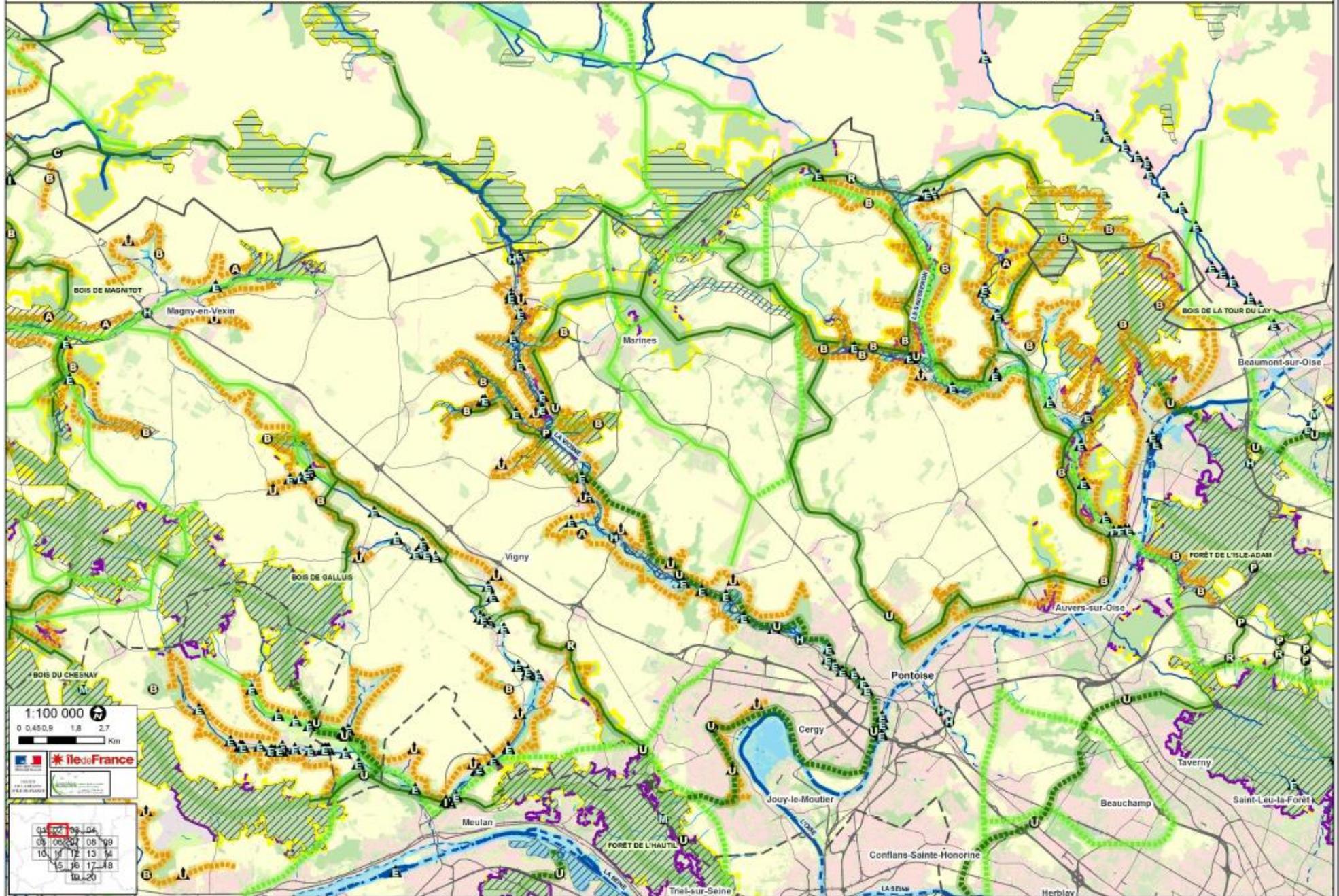
- Issus de l'écologie du paysage
- Des milieux naturels reliés entre eux
- Notion de surface, qualité, quantité
- Plusieurs sous-réseaux (sous-trames)



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

CARTE DES COMPOSANTES DE LA TRAME VERTE ET BLEUE DE LA RÉGION ÎLE-DE-FRANCE - PLANCHE 02



1:100 000

0 0,450,9 1,8 2,7 Km

ile de France

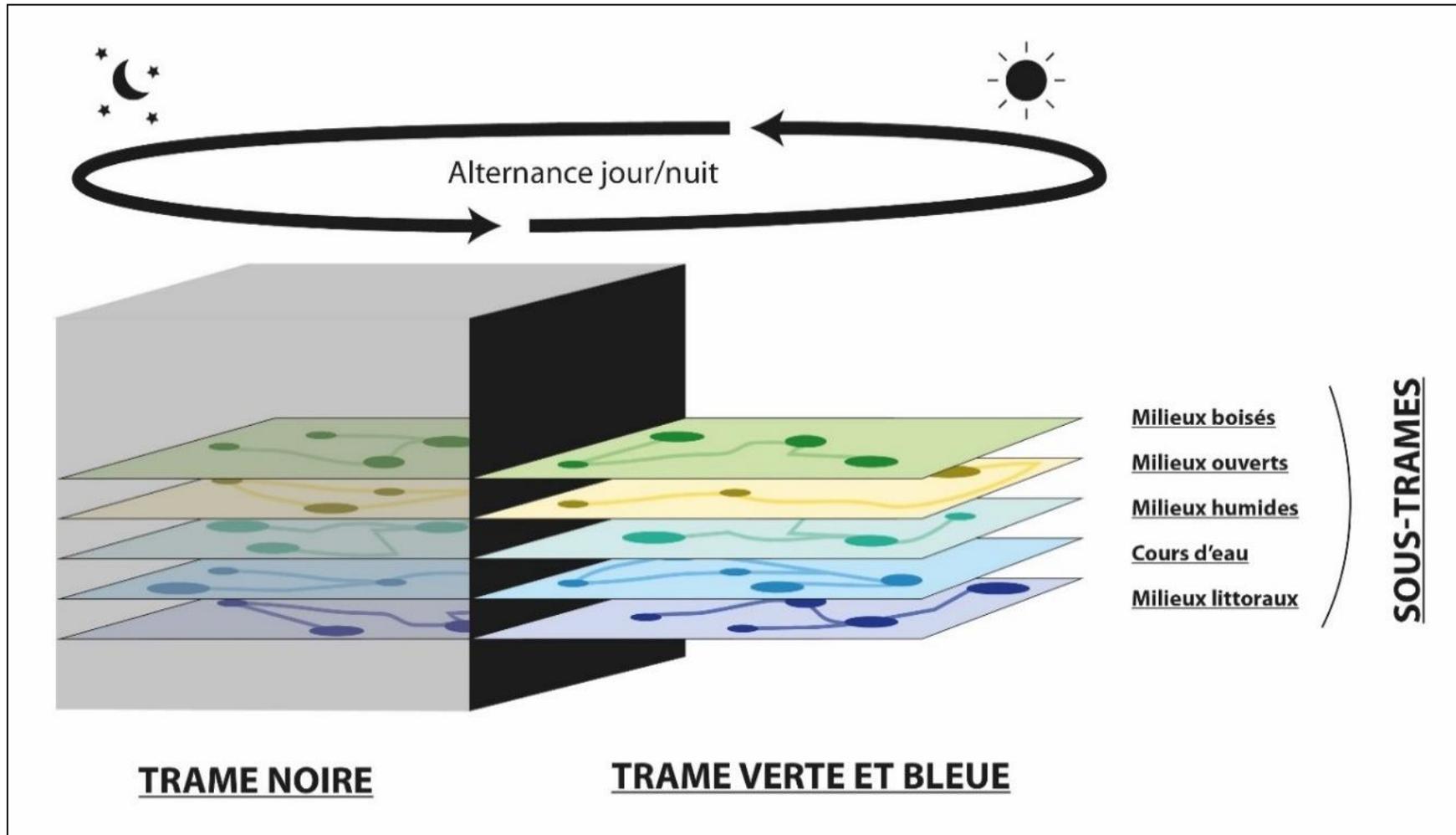
04	07	08	09
05	06	07	08
10	11	12	13
15	16	17	18
M14-20			

Sources : Ecophis, IAU ÎF, IGNB, Décembre 2012

LES CARTES SONT EXPLOITABLES AUX 100 000 ÈME ET NE DOIVENT PAS FAIRE L'OBJET DE ZOOM POUR LEUR INTERPRÉTATION.

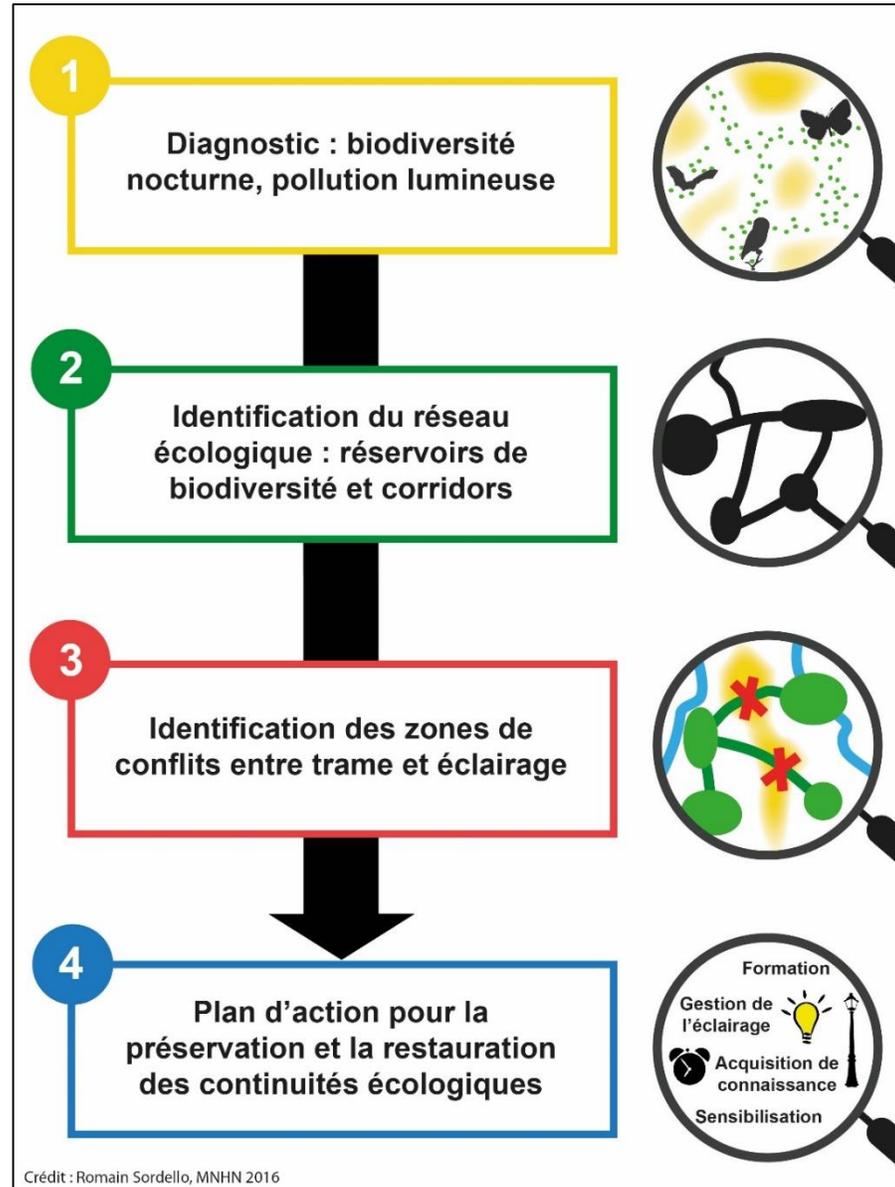
La Trame noire

Un réseau écologique formé de réservoirs et de corridors noirs à préserver et restaurer pour la vie la nuit



Sordello 2017 Territoire en mouvement

Comment la mettre en œuvre ?



SORDELLO R. *et al.* 2014

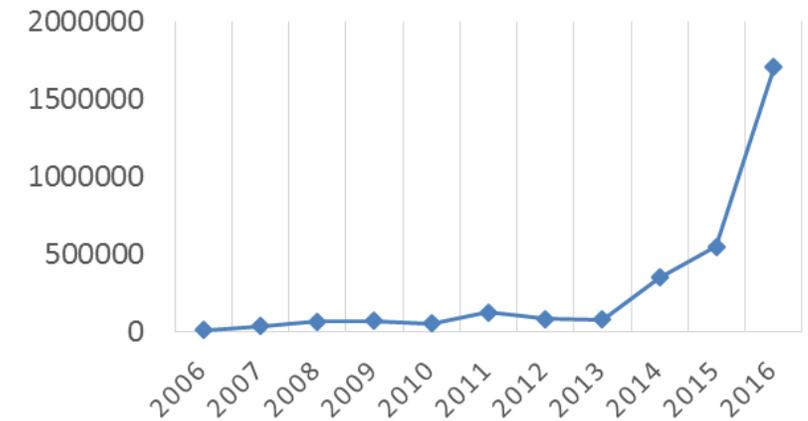
Les programmes d'inventaire de la biodiversité nocturne

- VigieChiro (MNHN) - Programme de VigieNature consacré aux chauves-souris

=> Actuellement # 2 millions données de répartition récoltées (3 protocoles)

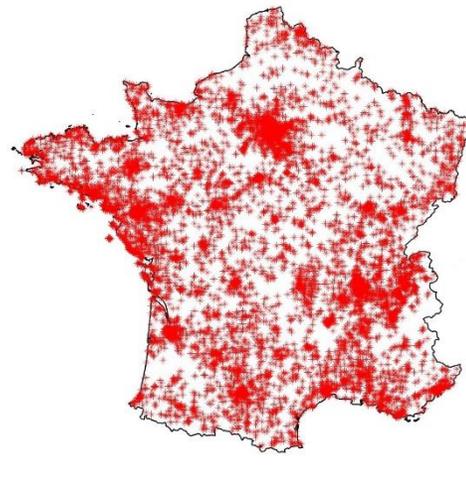


BAT PASSES RECORDED / YEAR (FRANCE)



- Observatoire des Vers luisants (CNRS/Estuaire)

=> En 2016-2017 environ 15 000 données couvrant un peu plus de 10 000 points en France



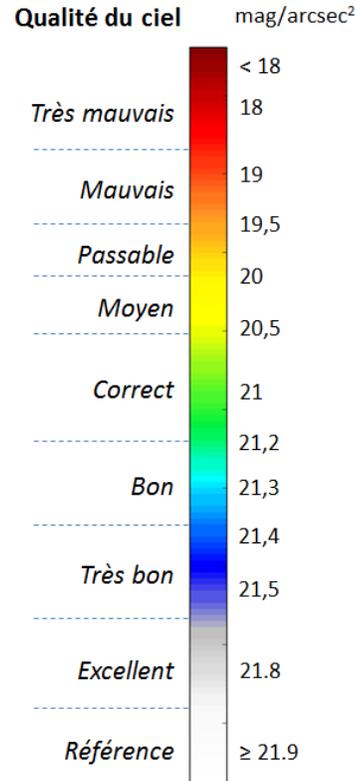
Les données d'éclairage dont on dispose

Plusieurs sources existent et diffèrent :

- par leur échelle (mondiale, nationale, locale)
- par leur « statut » : données brutes ou élaborées
- si modélisation : par leurs données d'entrée (mesures réelles, données proxy, ...) et le modèle utilisé
- en fonction de ce qu'elles indiquent (lumière perçue par le haut, lumière mesurée au sol, ...)

Faire soi-même des mesures

- Mesure avec un Sky Quality Meter (SQM) => magnitude en arc seconde au carré (mag/arcsec²)

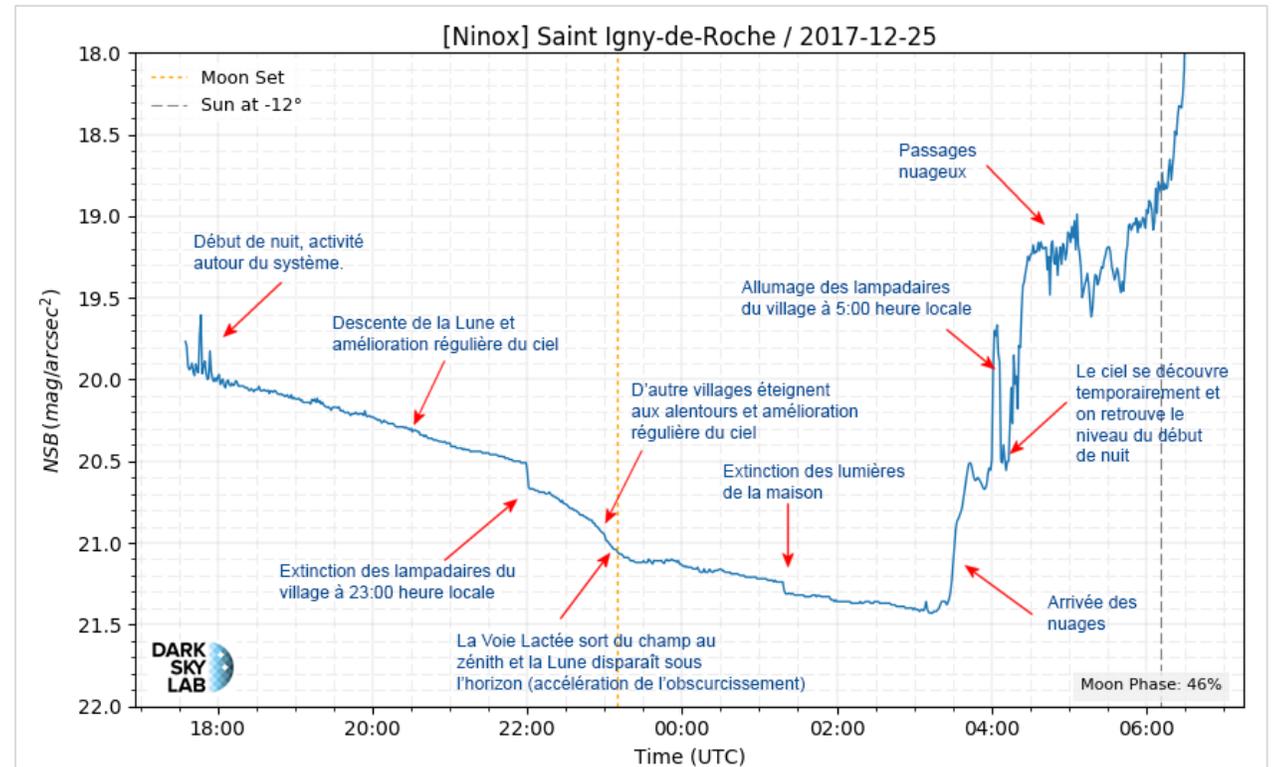


- Représentation selon l'Echelle de Bortle
- Perspectives intéressantes avec l'appareil Ninox développé par Dark Sky Lab
- Projet de couplage avec sciences participatives (FRIPON)



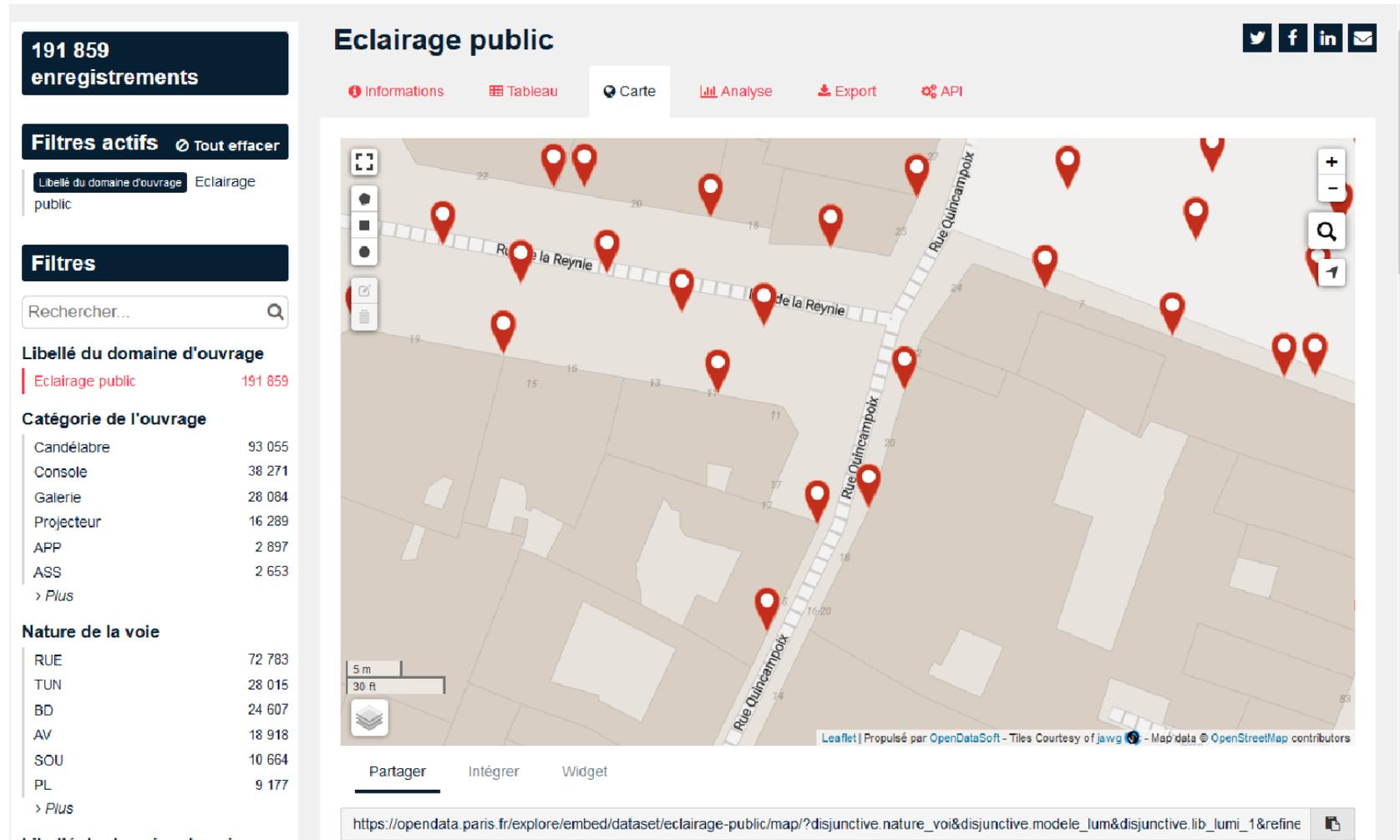
Source : Cerema, 2017

Carte de luminance illustrant les quantités de lumière perçues depuis la plage à hauteur de tortue marine (valeurs en cd/m²).



Les données de lampadaires

- Ces données sont normalement publiques
- Peu de communes les mettent à disposition pour le moment voire ne les ont pas elles-mêmes
- Quelques grandes villes les diffusent en open access (Paris, Montpellier, ...)
- Perspectives de centralisation nationale en cours d'approfondissement



Faire des photo-aériennes nocturne



Vol de nuit

Production sur commande, très peu pratiquée à ce jour (coût élevé)

Exemple à Nantes :
photoaérienne produite par la Métropole (#70k€) et travail de Trame noire en cours par le Cerema)

Les images satellites



Données satellite NASA VIIRS-DNB (2012)

Mesure de la radiance (puissance par unité de surface en $\text{w.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$, luminance énergétique perçue par le satellite)

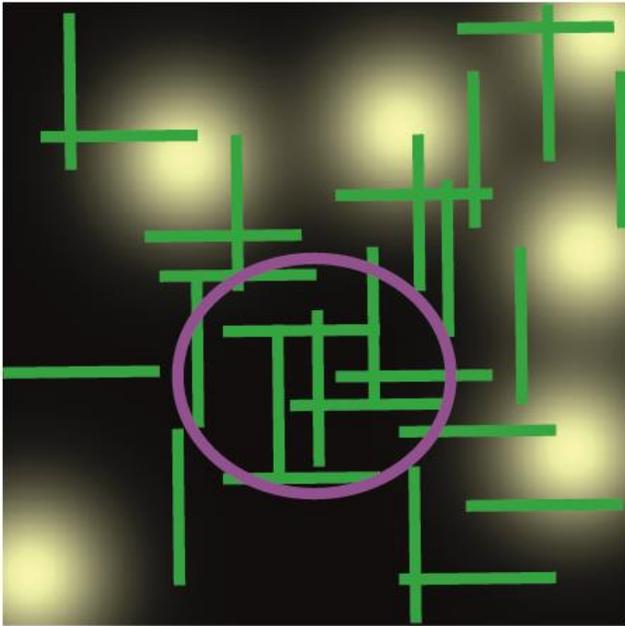
Pratiques pour une échelle mondiale ou nationale

Utilisées pour certaines études en écologie, par exemple en France
Azam et al., 2016

- ▶ De 2011 (SNPP) et présent
- ▶ 742 m/pxl
- ▶ JPSS1 à 01h56 UTC et SNPP 01h08 et 02h48 UTC

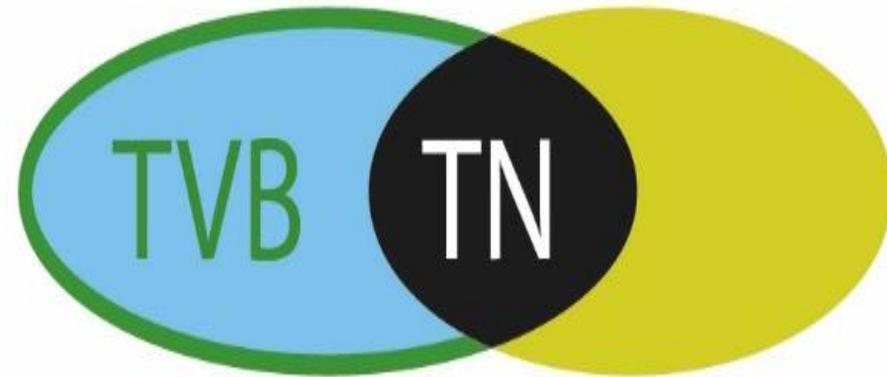
Comment identifier concrètement la Trame noire ?

Méthode intégrative



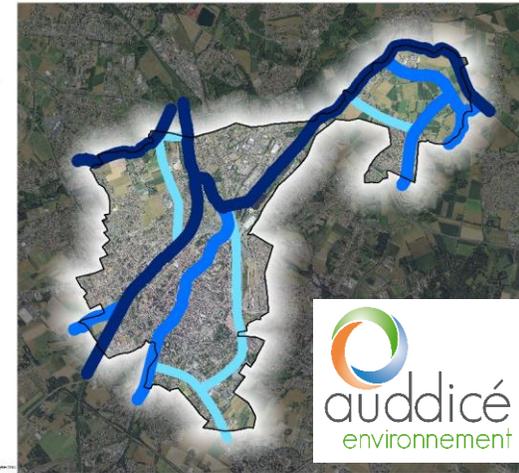
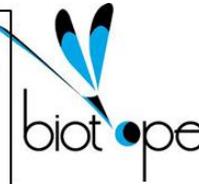
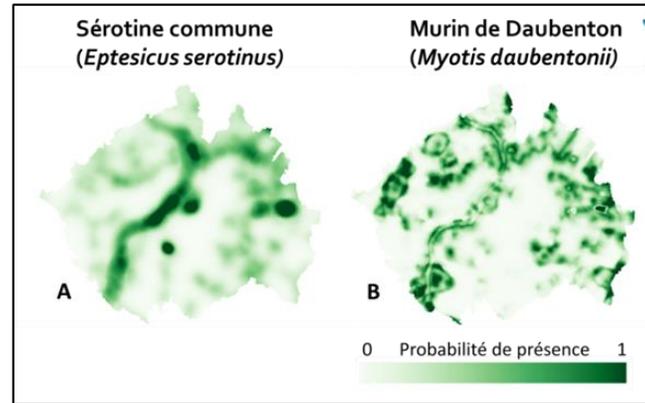
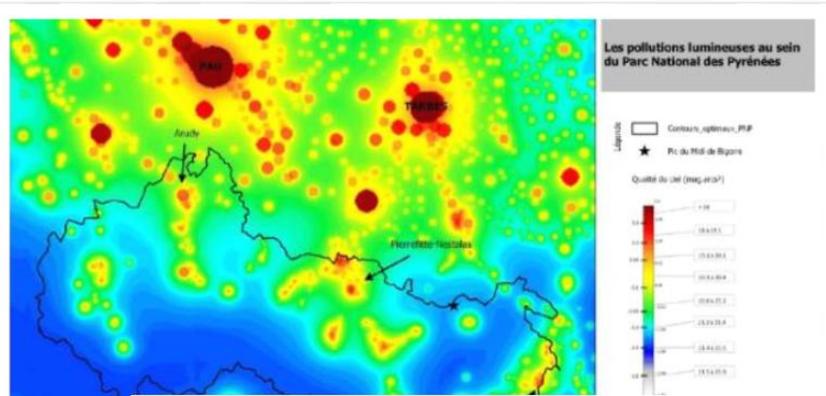
L'obscurité est intégrée directement dans l'identification des continuités écologiques de la trame noire (ici par exemple pour des réservoirs de biodiversité de milieux bocagers)

Méthode déductive

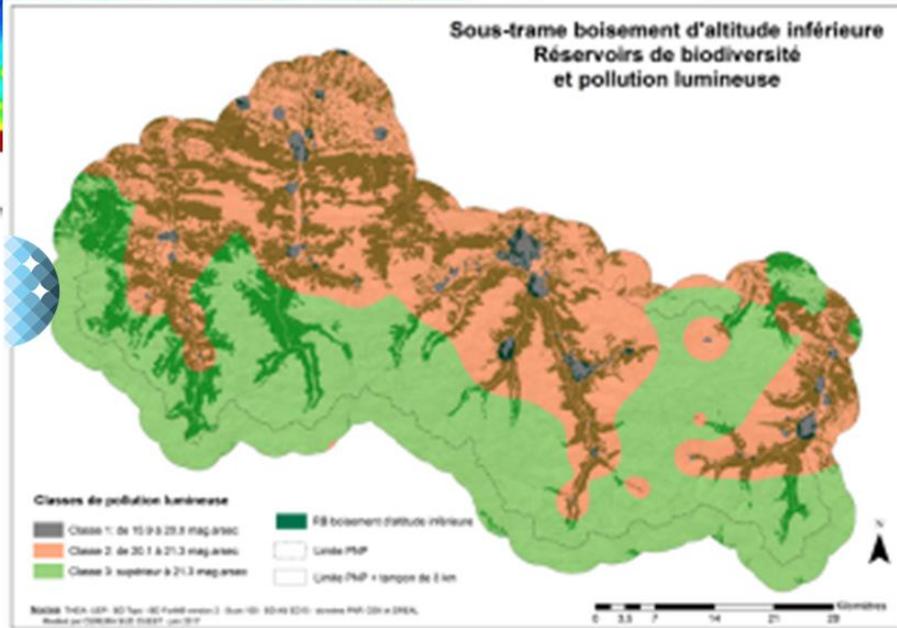


L'obscurité est superposée à la trame verte et bleue actuelle pour en déduire les continuités écologiques de la trame noire

A ce jour quelques projets aboutis, des démarches exploratoires

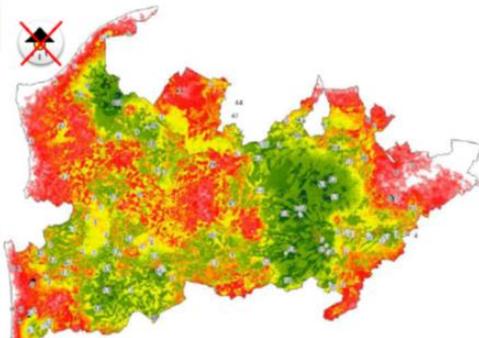


DARK SKY LAB

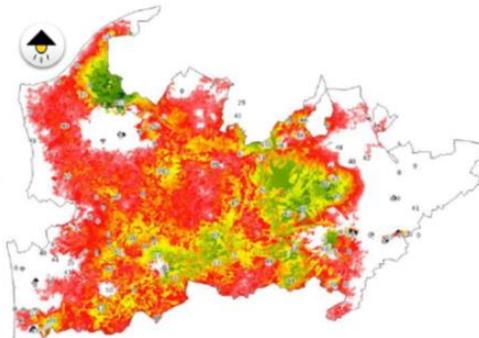


• Diagnostic des continuités écologiques avec et sans lumière artificielle

Fonctionnalité sans éclairage artificiel



Fonctionnalité avec éclairage artificiel



Les cartes sont issues d'un travail de recherche et développement réalisé en partenariat avec le Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale. Elles illustrent les estimations par simulation des tailles de populations et les déplacements des chiroptères sur le territoire du Parc.

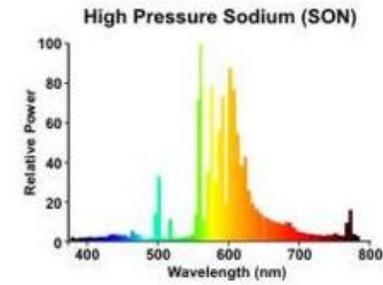
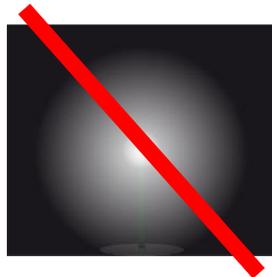
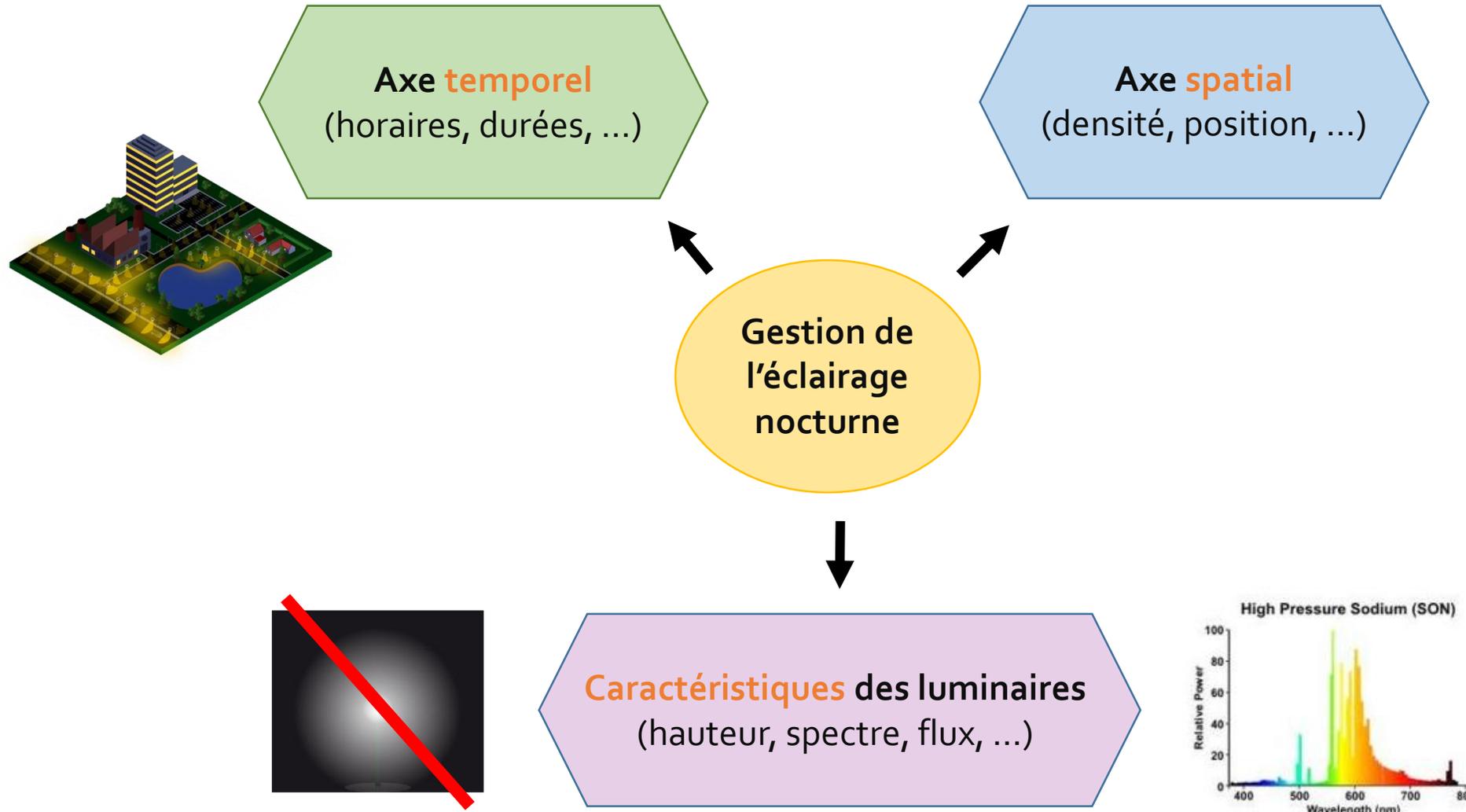
Trafic
 ■ 1 passage par mois
 ■ 1 passage par an
 ■ 1 passage par 4 ans
 □ Aucun passage
 72 Estimation des tailles

Probabilité de maintien des populations



Sordello et al. 2018, SET

Comment gérer l'éclairage nocturne



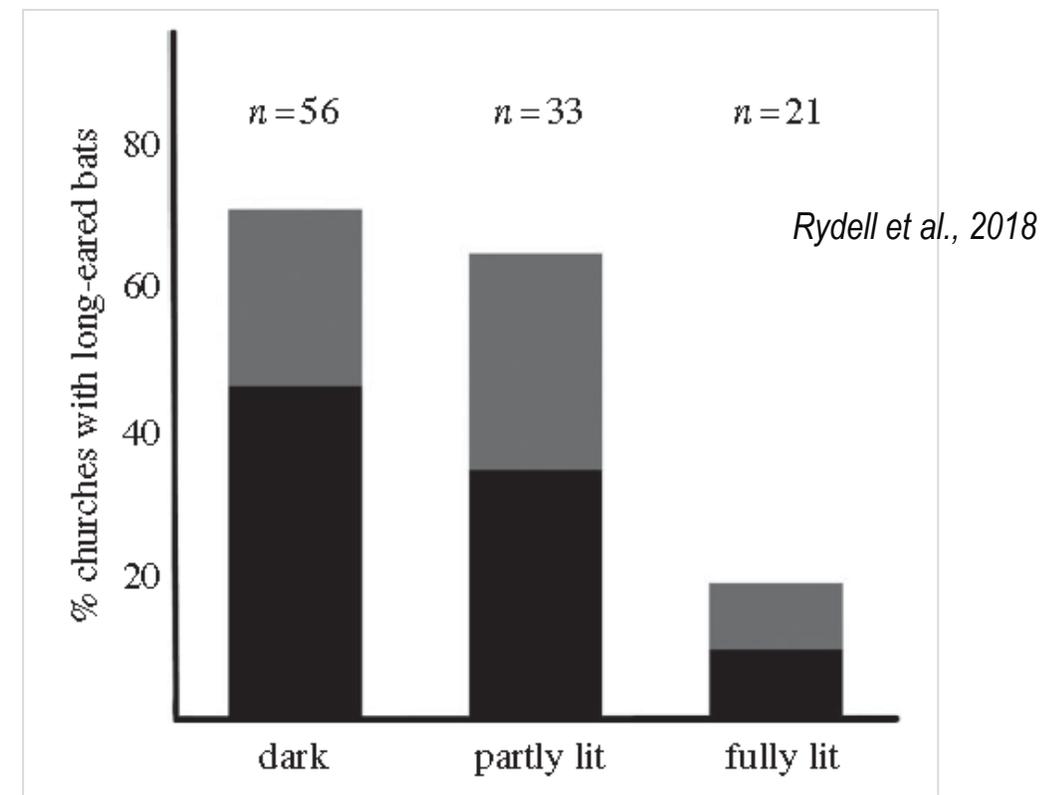
Vers une gestion différenciée de l'éclairage



**Transposer à l'éclairage le modèle appliqué pour la végétation
=> Graduation et absence d'éclairage en fonction des espaces et des enjeux**

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, littoral)
- Importance des revêtements (réflexion)



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

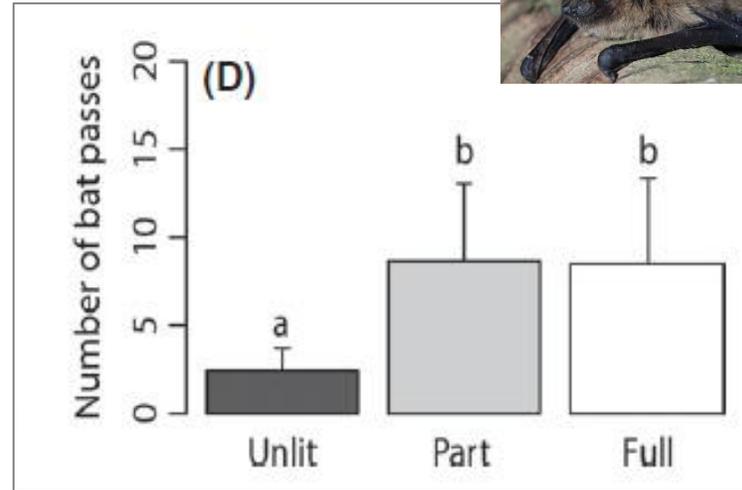


V. – Les installations d'éclairages visées à l'article 1^{er} n'éclairent pas directement les cours d'eau, le domaine public fluvial (DPF), les plans d'eau, lacs, étangs, le domaine public maritime (DPM) (partie terrestre et maritime),

La temporalité de l'éclairage

Extinction en cœur de nuit :

- Plusieurs milliers de communes la pratiquent
- Modalités variables (totale, partielle)
- Efficacité : deux études sur les chauves-souris démontrent un bénéfice limité (Azam *et al.*, 2016 ; Day *et al.*, 2015)



Pipistrelle de Khul *Pipistrellus kuhlii*
Azam *et al.* 2016

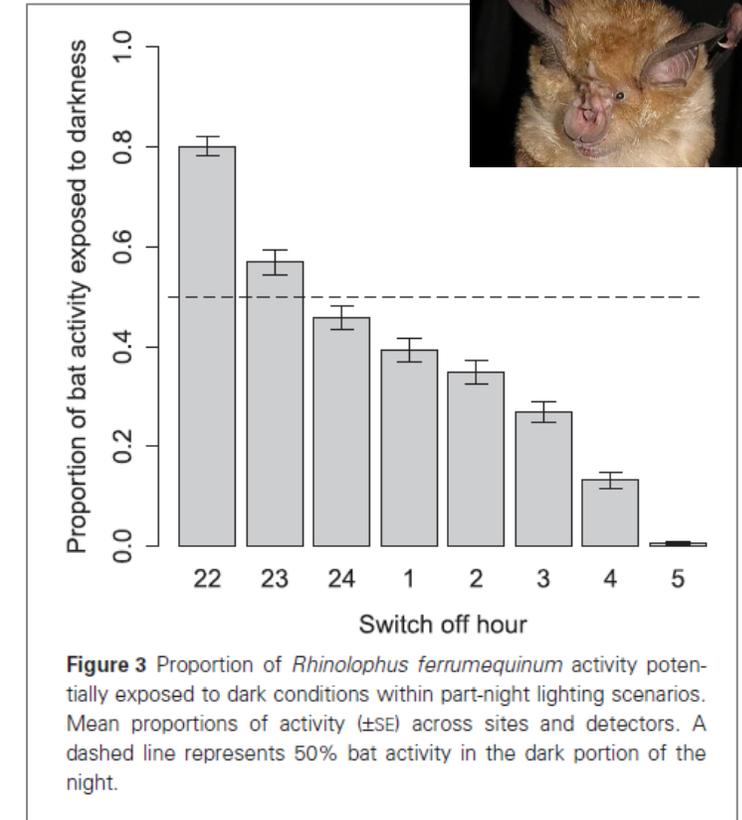


Figure 3 Proportion of *Rhinolophus ferrumequinum* activity potentially exposed to dark conditions within part-night lighting scenarios. Mean proportions of activity (\pm SE) across sites and detectors. A dashed line represents 50% bat activity in the dark portion of the night.

Day *et al.* 2015

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

La temporalité de l'éclairage

Rappel réglementation

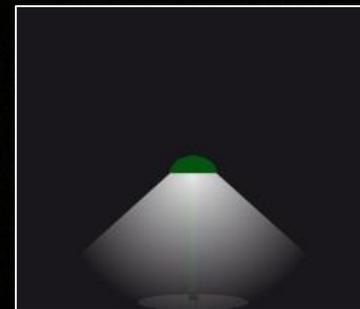
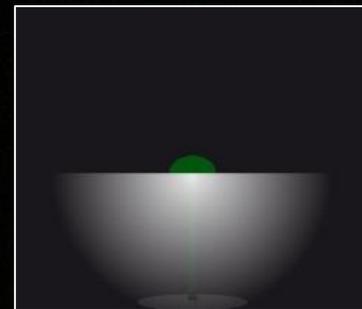
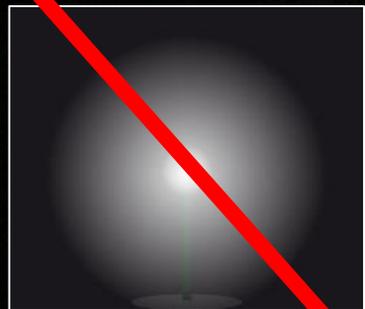
- Allumages au plus tôt au coucher du soleil
- Extinction des enseignes/publicités lumineuses entre 1h et 6h du matin
- Extinction des mises en valeur et des parcs et jardins après 1h du matin
- Extinction des lieux d'activités (vitrines, parkings, bureaux, ...) 1h (ou 2h) après l'activité
- Pas de réglementation sur l'éclairage de rue

Où ? Cas général, sur tout le territoire	Installations d'éclairages auxquelles les dispositions s'appliquent	Allumage (l'icône = au plus tôt au coucher du soleil)	Extinction (de nuit) Au plus tard :	Allumage (matinal) Au plus tôt :
	Eclairages extérieurs (a) liés à une activité économique et situés dans un espace clos		 1h après la fin d'activité	 à 7h du matin OU  1h avant le début d'activité
	Eclairages de mise en lumière du patrimoine et des parcs et jardins (b)		 à 1h du matin OU  1h après la fermeture des parcs et jardins	
	Éclairage des bâtiments non résidentiels (d)			
	Éclairage intérieurs des locaux à usage professionnel (d)		 1h après la fin d'occupation des locaux	 à 7h du matin OU  1h avant le début d'activité
	Eclairages de vitrines de magasins de commerce ou d'exposition (d)		 à 1h du matin OU  1h après la cessation d'activité si celle-ci est plus tardive	 à 7h du matin OU  1h avant le début d'activité
	Eclairages des parcs de stationnement (e) annexés à un lieu ou zone d'activité		 2h après la fin d'activité	 à 7h du matin OU  1h avant le début d'activité
	Eclairages des chantiers extérieurs (g)		 1h après la cessation d'activité	

Source : Cerema

L'orientation

Règlementation : quantité au-dessus horizontale <4% sur site pour les éclairages a et e (parkings)



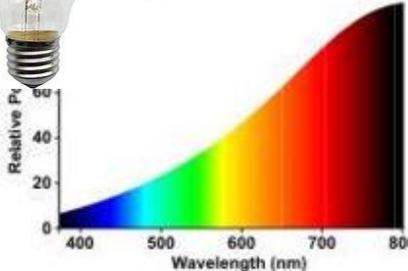
Plusieurs sources lumineuses avec chacune leur spectre

LAMPES A INCANDESCENCE

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



Tungsten Incandescent



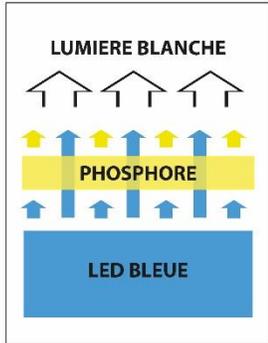
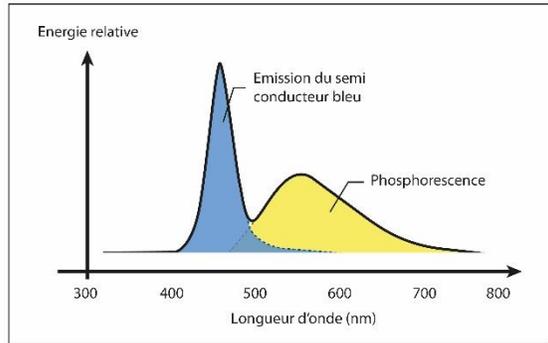
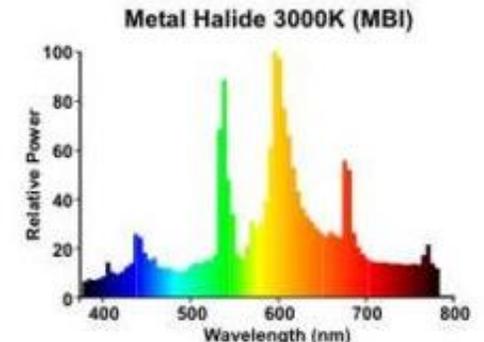
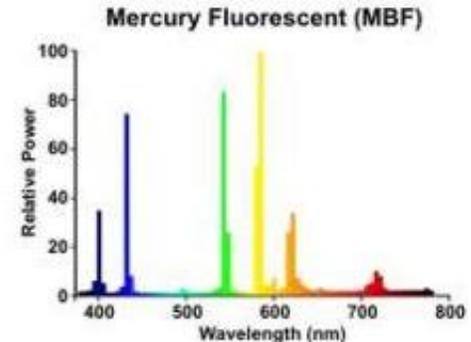
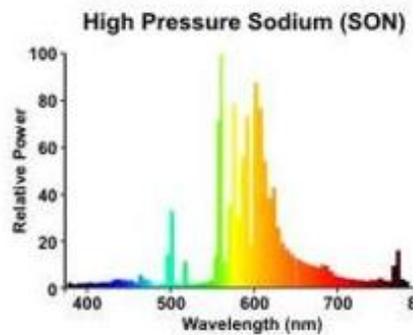
LAMPES A DÉCHARGE

Une décharge électrique est envoyée dans un tube rempli de gaz




Diode Electro Luminescente (Composés électroniques)

SEMI-CONDUCTEURS LED, OLED

Les effets de la lumière sur la faune et la flore sont variables selon la longueur d'onde lumineuse

Activité chez les chauves-souris
Spoelstra *et al.*, 2017

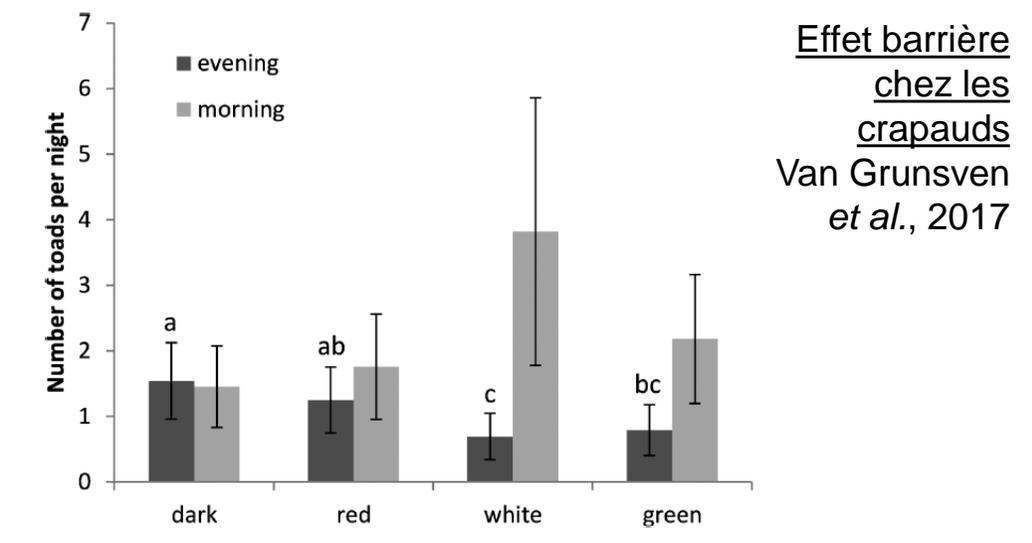
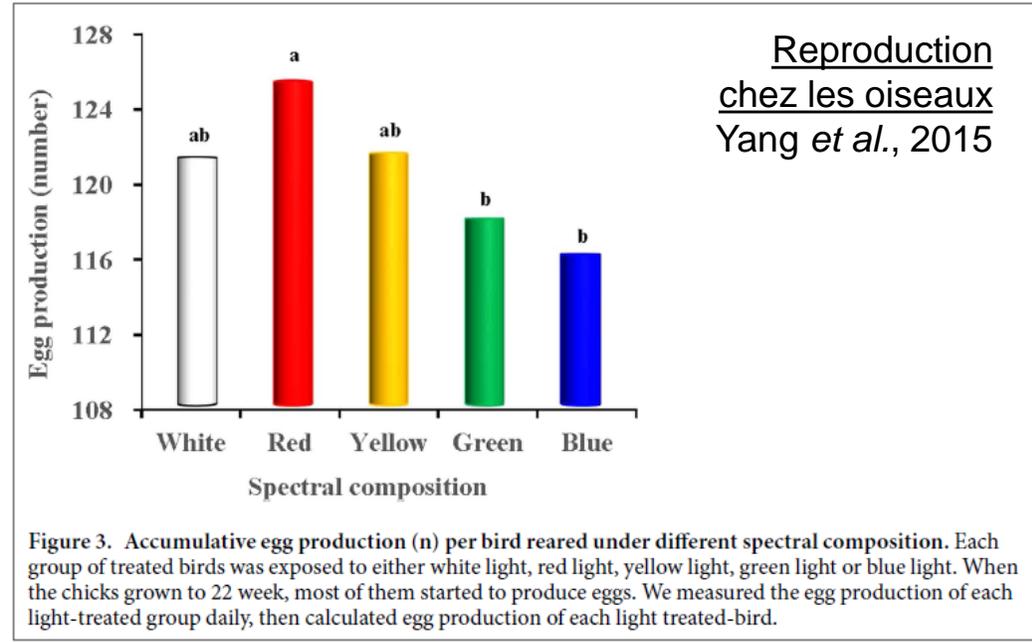
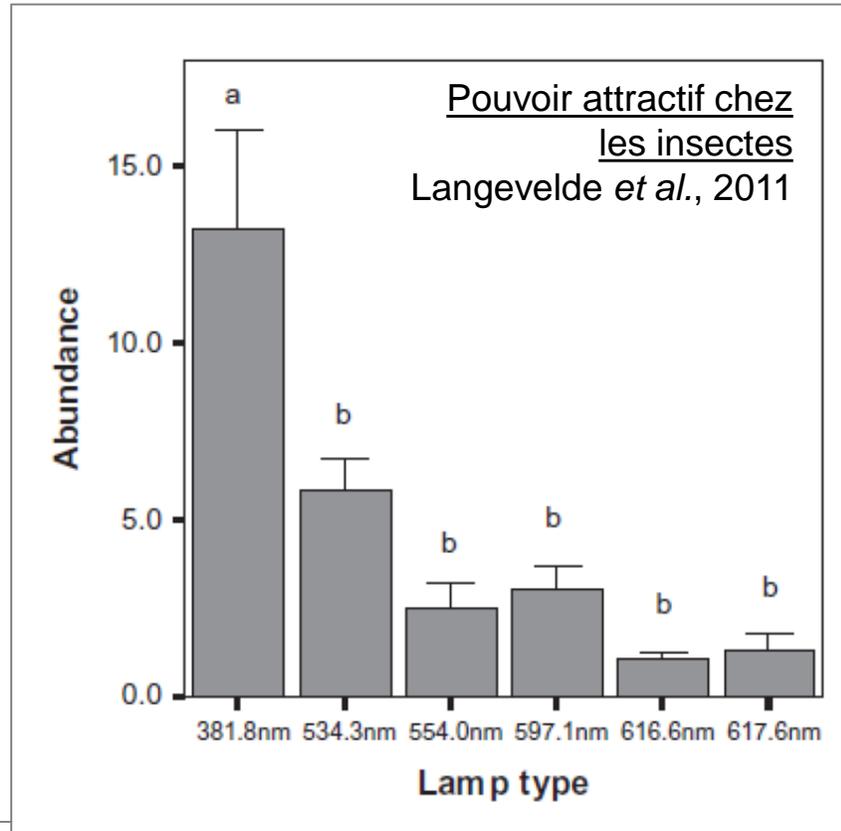
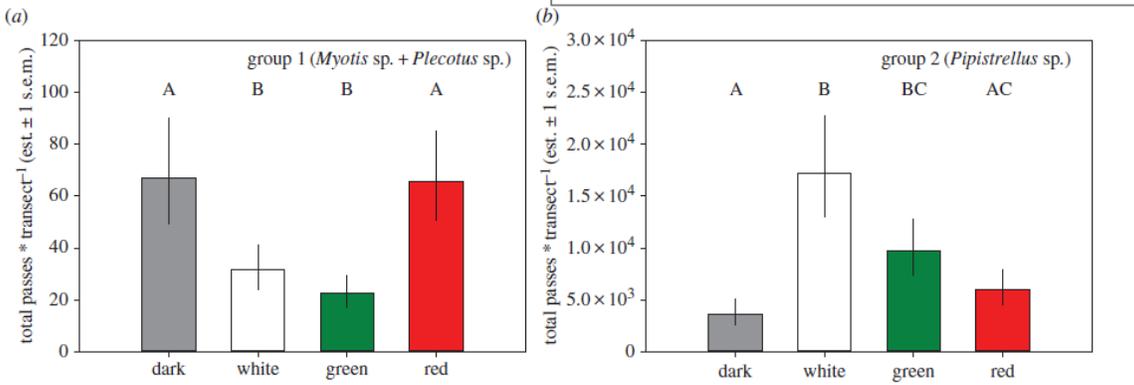


Figure 3. The mean number of toads caught per night, per bucket is given for every light treatment. Data are presented both for animals caught in the evening with the illumination turned on and the animals caught in the morning, i.e. after the light was turned off. Letters indicate significant contrasts in GLMMs and whiskers are standard deviations based on 10 000 sample bootstrapping.

Quelle lumière est la plus impactante ?

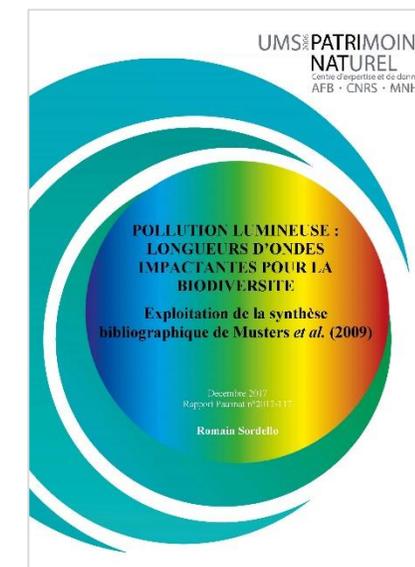


	Ultraviolet (<380nm)	Violet (380-450nm)	Bleu (450-500nm)	Vert (500-550nm)	Jaune (550-600nm)	Orange (600-650nm)	Rouge (650-750nm)	Infrarouge (>750nm)
Plantes	• Croissance	• Croissance	• Croissance	• Croissance			• Croissance • Horloge circadienne	• Croissance • Horloge circadienne • Horloge circannuelle • 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 Muster *et al* 2009

Légende :

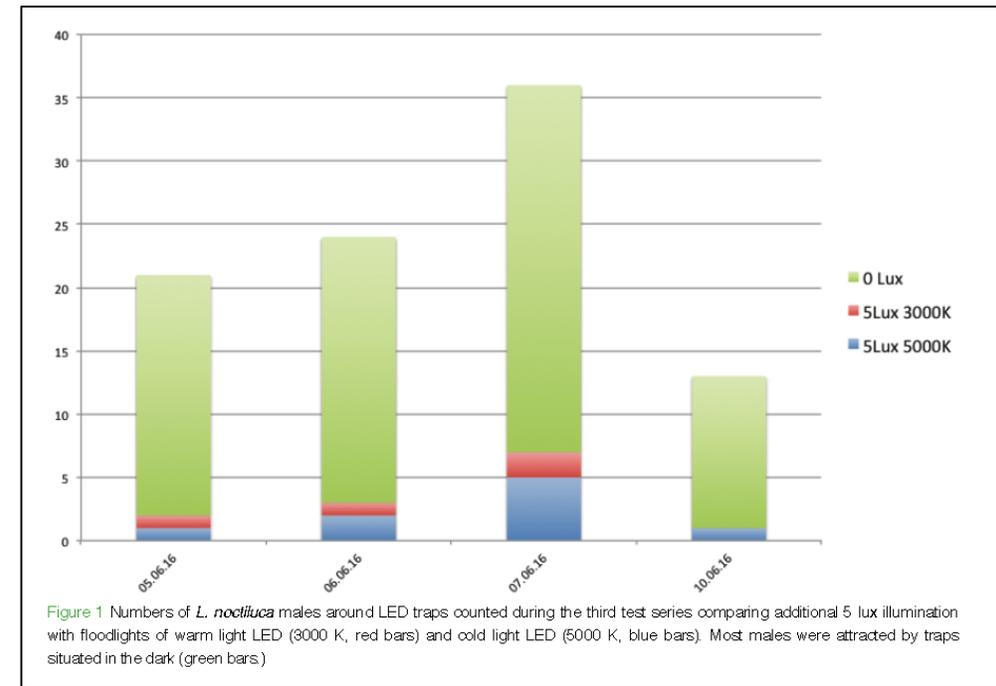
1 type d'impact	2 types d'impacts	3 types d'impacts	4 types d'impacts
-----------------	-------------------	-------------------	-------------------



Sordello 2017

Quelles préconisations ?

- Difficulté à préconiser telle ou telle longueur d'onde dans l'absolu => dépend des enjeux (diagnostic de biodiversité) et état des connaissances limité (résultats parfois contradictoires)
- Deux règles générales :
 - Privilégier les **spectres les plus étroits** pour impacter le moins d'espèces/fonctions possible (ex : Davies, 2013)
 - Certaines couleurs ressortent comme plus impactantes que d'autres, notamment **le bleu**
=> Privilégier les couleurs chaudes ou les **températures de couleur basses (< 3000°K)** (ex : Longcore et al., 2015)



Lusti & Ineichen, 2016

Règlementation :

- $T^{\circ} \leq 3000K$ pour a), d), e) et sites astronomiques
- Valeurs spécifiques pour les espaces protégés (jusqu'à 2400K)

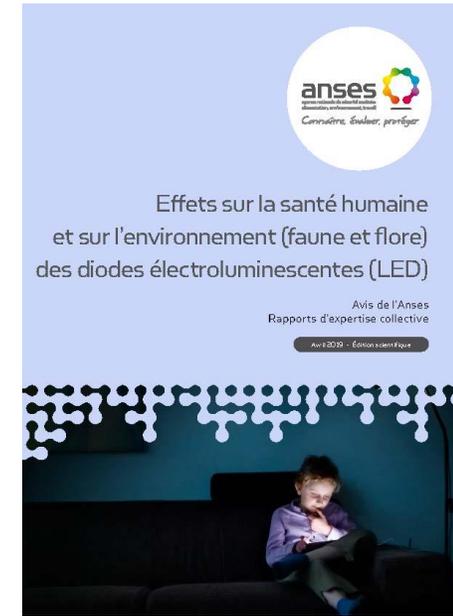
Les LED, que faut-il en penser ?

Les (+)

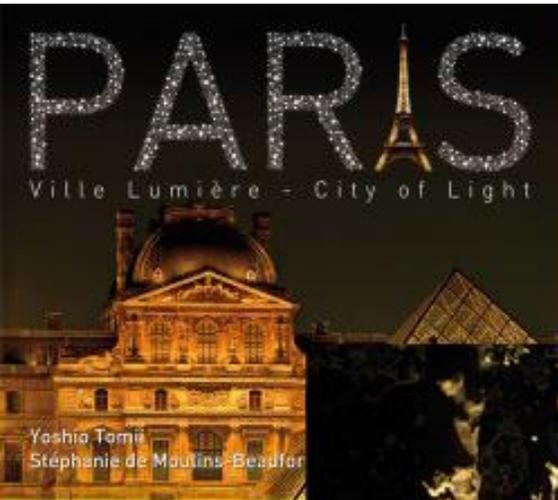
- Pilotage facile
⇒ extinction, allumage, flux lumineux, ...
- Nouveaux luminaires mieux orientés
⇒ gain en ULOR
⇒ diminution des halos lumineux

Les (-)

- Forte proportion de bleue (attraction, désynchronisation)
- Forte luminance (risque d'éblouissement, lésions, ...)
- aspects « recyclage », cycle de vie



Et si le problème venait d'ailleurs ?



C'EST L'HEURE DE LA SYNTHÈSE !



Pour aller plus loin

Muséum national d'histoire naturelle
 Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation
 Directeur Délégué en Développement Durable, à la Conservation de la Nature et à l'Écologie
 Service du Patrimoine Naturel
 Romain Sordello, Sylvie Vanpeere, Clémentine Azam, Christian Kerbiriou, Isabelle Le Viol & Thomas Le Tallec

Romain Sordello, Sylvie Vanpeere, Clémentine Azam, Christian Kerbiriou, Isabelle Le Viol & Thomas Le Tallec

Effet fragmentant de la lumière artificielle

Quels impacts sur la biodiversité ?

TRAME VERTE ET BLEUE

Rapport SPN 2014-5

Hors-série 2018

Sciences Eaux & Territoires

La revue d'Irstea

Article hors-série numéro 45

Trame noire : un sujet qui « monte » dans les territoires

Les conséquences de la lumière artificielle nocturne sur les déplacements de la faune et la fragmentation des habitats : une revue

Romain Sordello

Muséum national d'histoire naturelle de Paris, UMS 2006 Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN, 61, rue Buffon, Chez le CBNBP - CP53, F-75005 Paris (romain.sordello@mnhn.fr)

Sordello, R., 2017. Les conséquences de la lumière artificielle nocturne sur les déplacements de la faune et la fragmentation des habitats : une revue. *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois* 119 : 39–54.

Abstract. Artificial light at night causes negative effects on biodiversity. It alters species mobility, modifying the goal, the frequency and the temporality of animal movements, by attractive or repulsive effects. Recently, some studies demonstrated a clear fragmentation impact because artificial illumination can cut the dark of the night and then make impassable barriers for fauna. Scientific knowledge is still lacking about this fragmentation "per se" but it is now evidence that light pollution makes natural habitats regress for nocturnal biodiversity. In this situation, ecological networks, i.e. dark natural areas connected with black corridors, should be preserved and restored by policy makers.

Key words. Light pollution, ALAN, Corridors, Protected areas, Green infrastructure

Muséum national d'histoire naturelle
 Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation
 Directeur Délégué en Développement Durable, à la Conservation de la Nature et à l'Écologie
 Service du Patrimoine Naturel
 Romain Sordello

Première capitalisation méthodologique sur Les Schémas régionaux de cohérence écologique adoptés ou en projet

Pollution lumineuse

Rapport 2015-52

Mai 2015

[Vertigo]

La revue électronique en sciences de l'environnement

Volume 17 numéro 3 | décembre 2017

Biodiversités et gestion des territoires

Section courante

Pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques

Romain Sordello

Résumé | Index | Plan | Texte | Bibliographie | Illustrations | Citation | Auteur

Comment gérer la lumière artificielle dans les continuités écologiques ?

Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ?

Light Pollution in French Green and Blue Infrastructure Policy: Towards an Ecological Network?

Romain Sordello

Vous avez des questions ?
 L'Association française de l'éclairage vous apporte des réponses

FICHE 16

Pollution lumineuse et biodiversité : des enjeux scientifiques à la trame noire (2/2)

Effets de la lumière artificielle sur la biodiversité

La lumière artificielle nuit à des connaissances sur tous les groupes biologiques, terre et mer (insectes : arthropodes, 30 %, des vertébrés : 60 %, des invertebrés marins, particulièrement les échinodermes et mollusques, sur tous les milieux écologiques (terrestres, aquatiques, marins)

Cette fiche a été rédigée avec le Muséum national d'histoire naturelle (UMS 2006 Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN) et l'Association française de l'éclairage (AFE). Elle est destinée à être utilisée par les professionnels de l'éclairage, les élus locaux, les associations de protection de la nature et les citoyens. Elle ne constitue pas un avis officiel de l'AFE ou du Muséum national d'histoire naturelle.

Depuis les années 2000, la recherche concernant les effets de la lumière artificielle nocturne sur la biodiversité est considérablement développée. De nouveaux groupes biologiques sont étudiés (oiseaux nocturnes, insectes nocturnes, chauves-souris, etc.) et les impacts sont désormais analysés à l'échelle des continuités écologiques, des réseaux écologiques ou encore des services écosystémiques. Cependant, pour que des connaissances nouvelles soient intégrées dans les politiques de gestion de la lumière artificielle nocturne, il est nécessaire de disposer de données scientifiques de qualité et de méthodes de recherche innovantes. Cette fiche a pour but de synthétiser les connaissances actuelles sur les impacts de la lumière artificielle nocturne sur la biodiversité et de proposer des pistes de recherche et de gestion de la lumière artificielle nocturne.

Enfin, la lumière artificielle perturbe les déplacements de la faune et fragmente les habitats. Elle peut agir de manière :

- attractive : lorsque l'éclairage attire les animaux (insectes, chauves-souris, etc.)
- répulsive : lorsque l'éclairage repousse les animaux (insectes, chauves-souris, etc.)
- attractive et répulsive : lorsque l'éclairage attire les animaux et les repousse à la fois (insectes, chauves-souris, etc.)
- attractive et répulsive : lorsque l'éclairage attire les animaux et les repousse à la fois (insectes, chauves-souris, etc.)

Il est important de prendre en compte l'impact de la lumière artificielle nocturne sur la biodiversité et de l'intégrer dans les politiques de gestion de la lumière artificielle nocturne.

Association française de l'éclairage - 17, rue de Valenciennes 75013 Paris, France - www.afel-eclairage.fr - afe@afe-eclairage.fr

UMS PATRIMOINE NATUREL
 Centre d'expertise et de données
 AFB - CNRS - MNHN

POLLUTION LUMINEUSE : LONGUEURS D'ONDES IMPACTANTES POUR LA BIODIVERSITE

Exploitation de la synthèse bibliographique de Musters *et al.* (2009)

Romain Sordello