

# Biodiversité & Trame noire

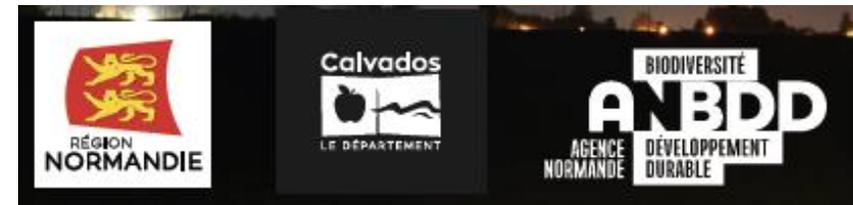
Allons vers un éclairage plus raisonné

Jeudi 22 septembre 2022 - Caen

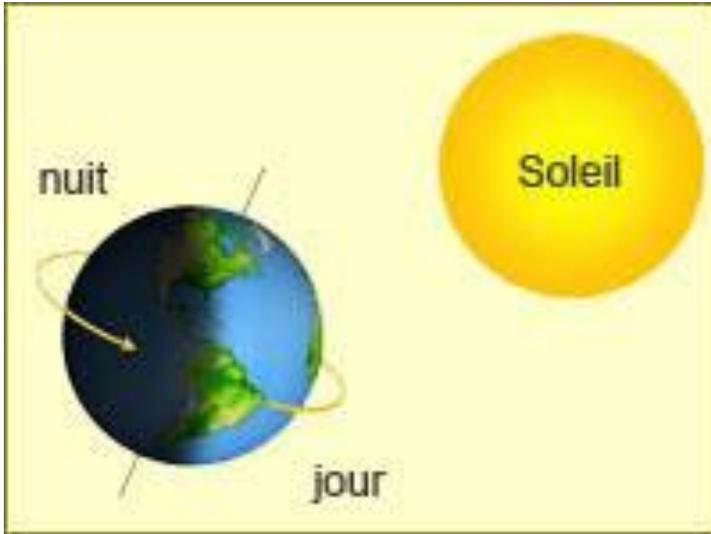


Pollution lumineuse : point sur les  
connaissances scientifiques et techniques  
*Impacts, Solutions, Règlementation*

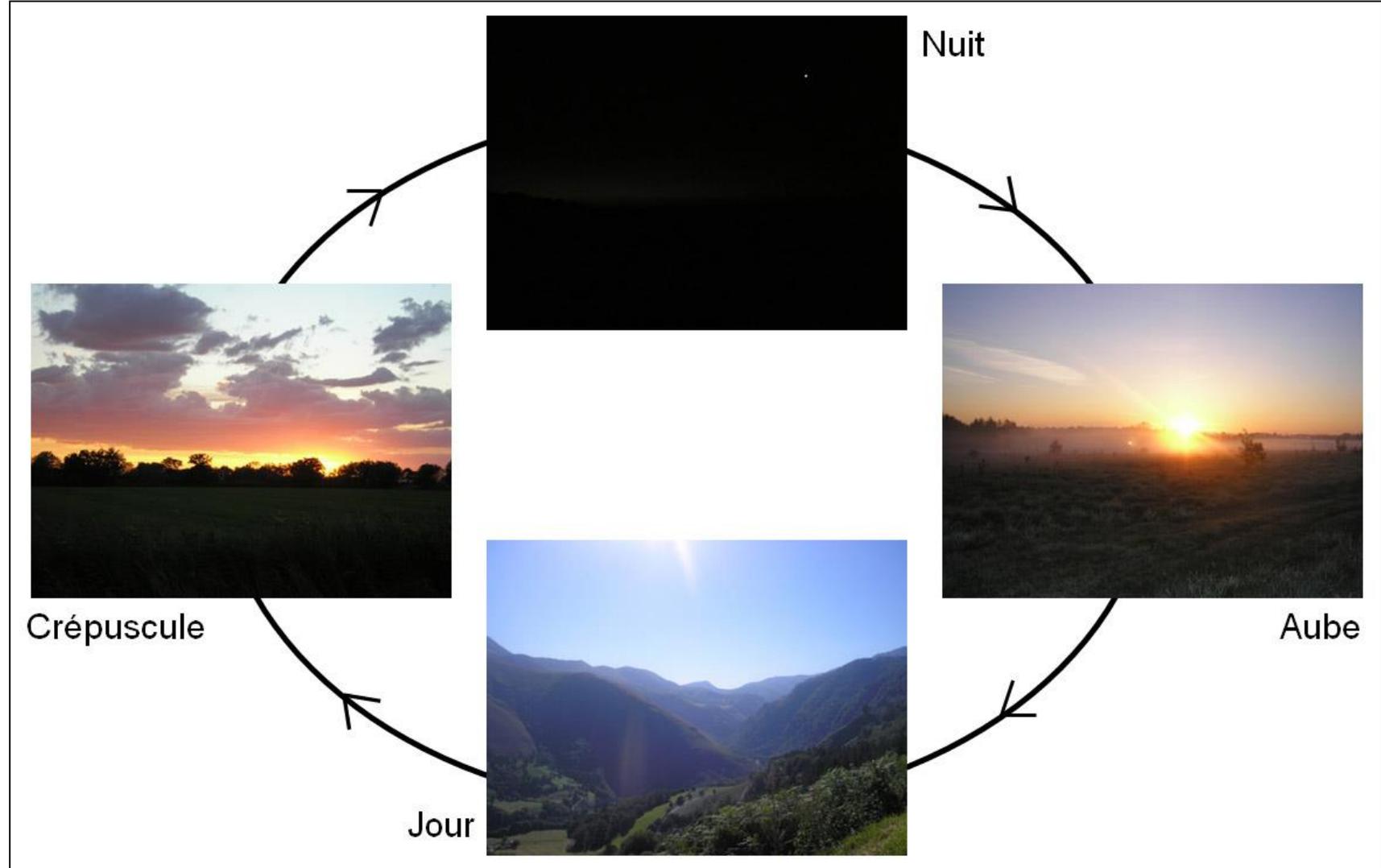
**Romain Sordello**  
Expert Pollution lumineuse et Trame verte et bleue  
PatriNat OFB-CNRS-MNHN



# Pourquoi et comment il fait nuit ?



*Une alternance naturelle et continue de période éclairée (jour) et de période obscure (nuit)*



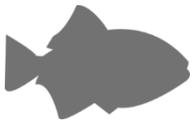
# L'alternance jour/nuit a constitué un paramètre structurant de l'Evolution



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



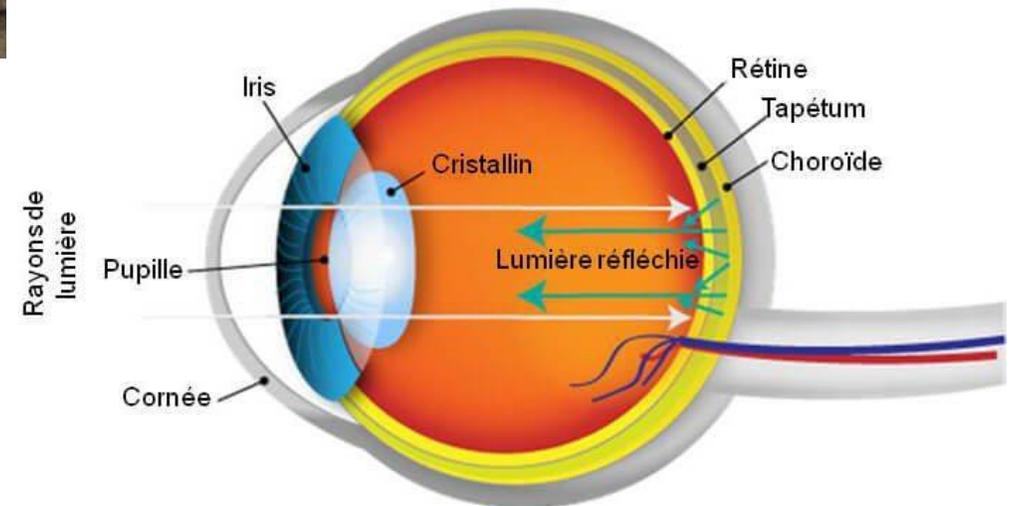
=> La majorité des animaux sont nocturnes



*Holker et al. 2010*



# Des espèces nocturnes parfaitement adaptées à l'obscurité grâce à des adaptations morphologiques et biologiques



# Le ciel étoilé, un repère la nuit (Lune, Constellations, Voie Lactée)

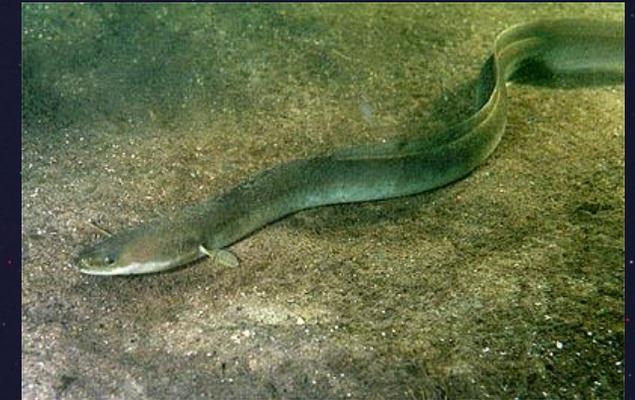
Ex : Wiltschko et al. 1987



Fauvette des jardins,  
*Sylvia borin*



Anguille européenne  
*Anguilla anguilla*



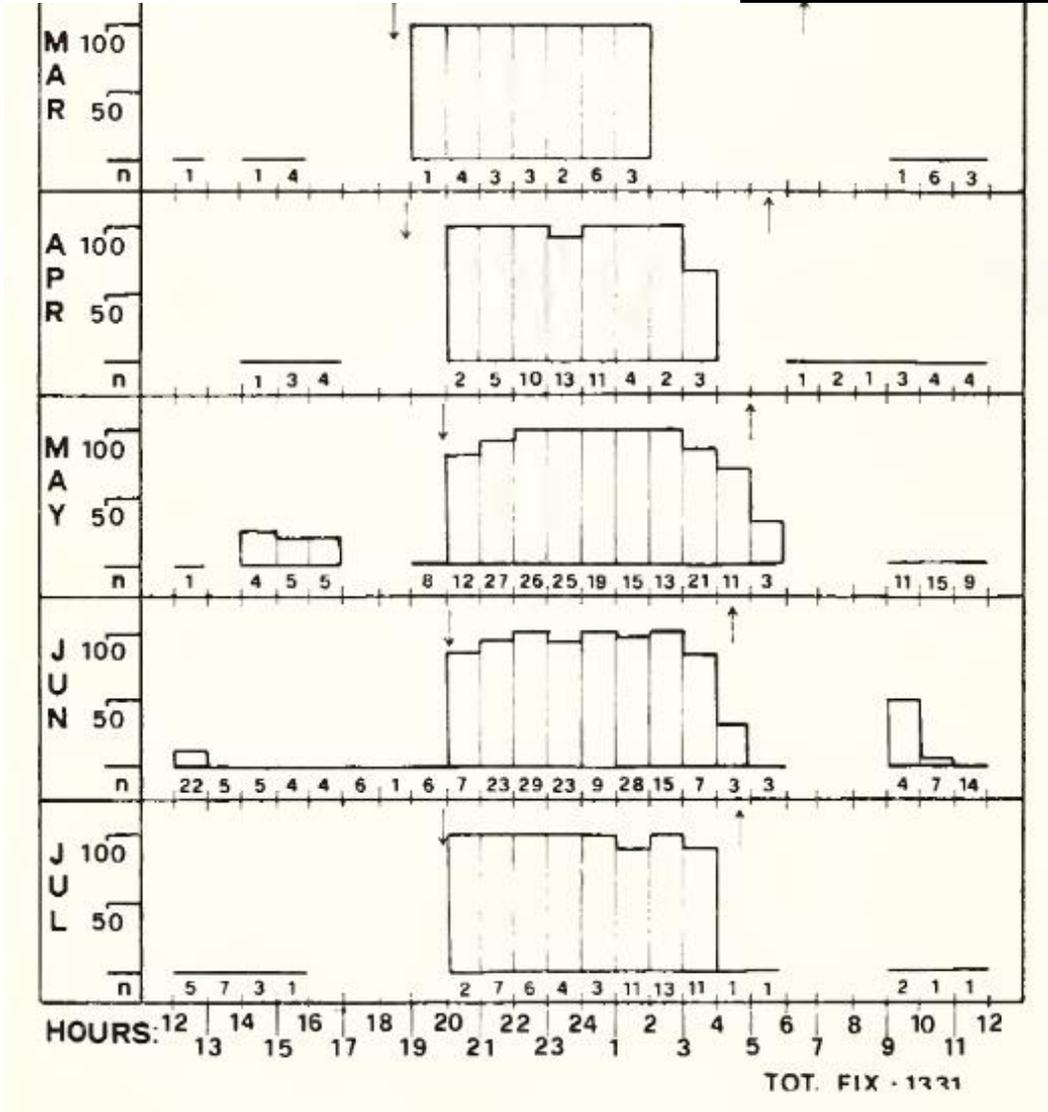
Ex : Cresci et al 2019, 2020

# Une phase d'obscurité essentielle, aussi pour les animaux diurnes et les végétaux



# Hérisson européen *Erinaceus europaeus*

## Des espèces strictement nocturnes



# Et (beaucoup) des espèces crépusculaires

⇒ Le crépuscule et l'aube, des moments charnières

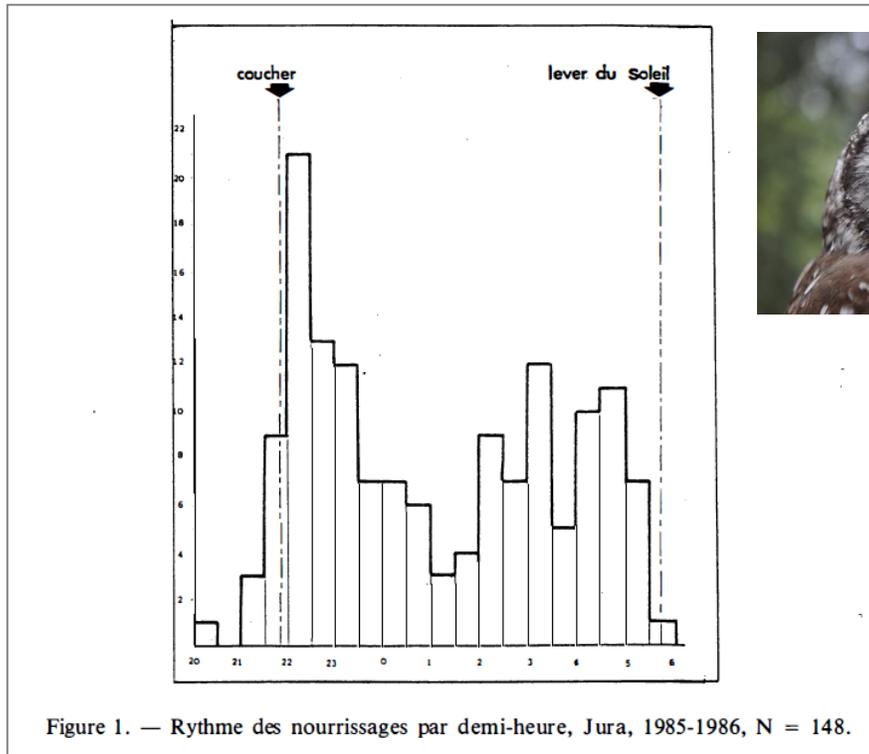
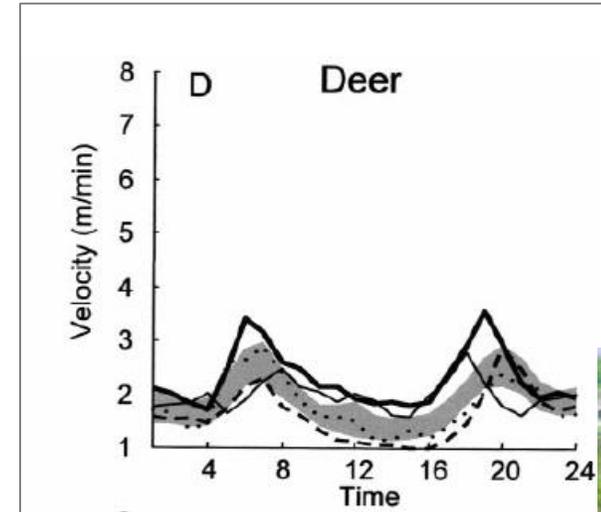


Photo P.A. Ravussin

Profil  
d'activité  
bimodal



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

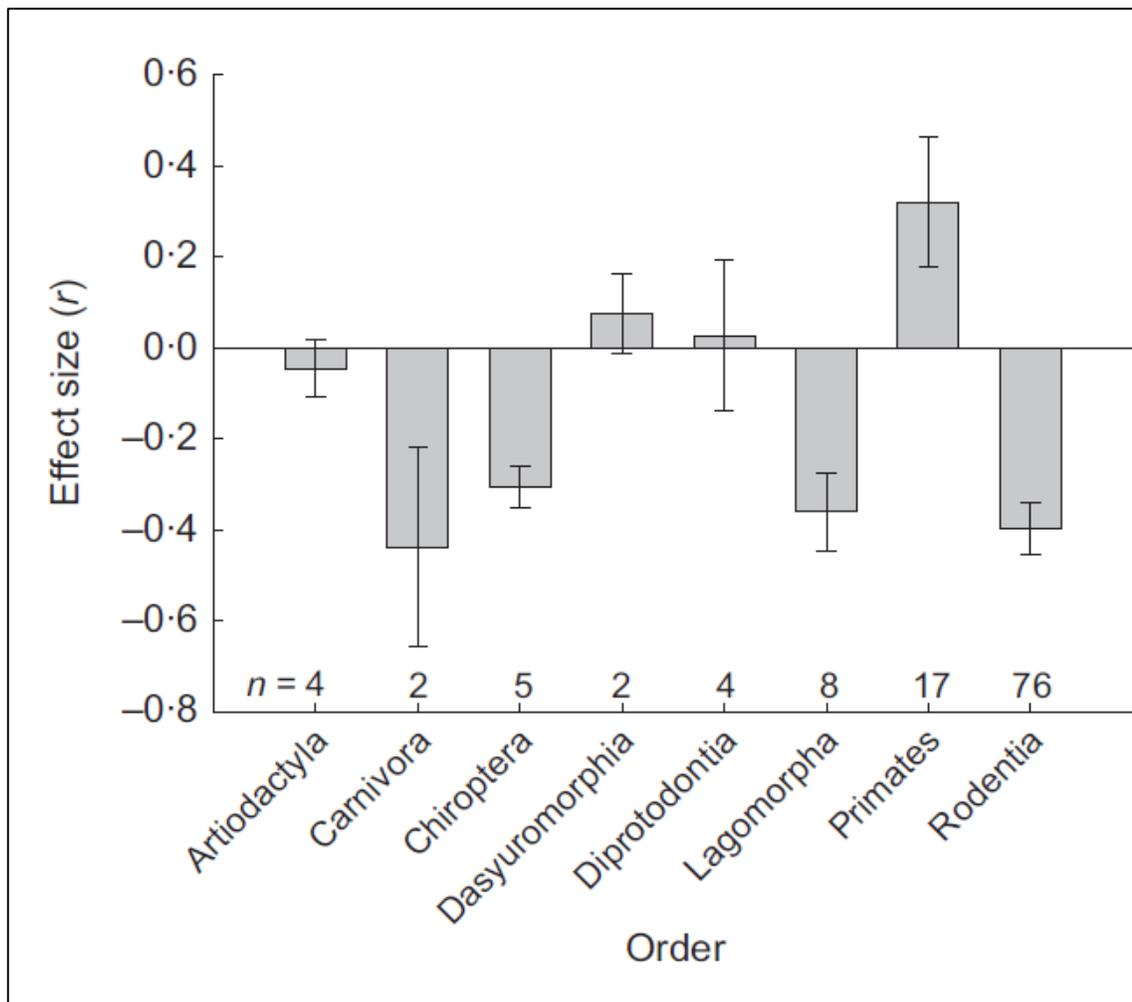


Photo P. Gourdain

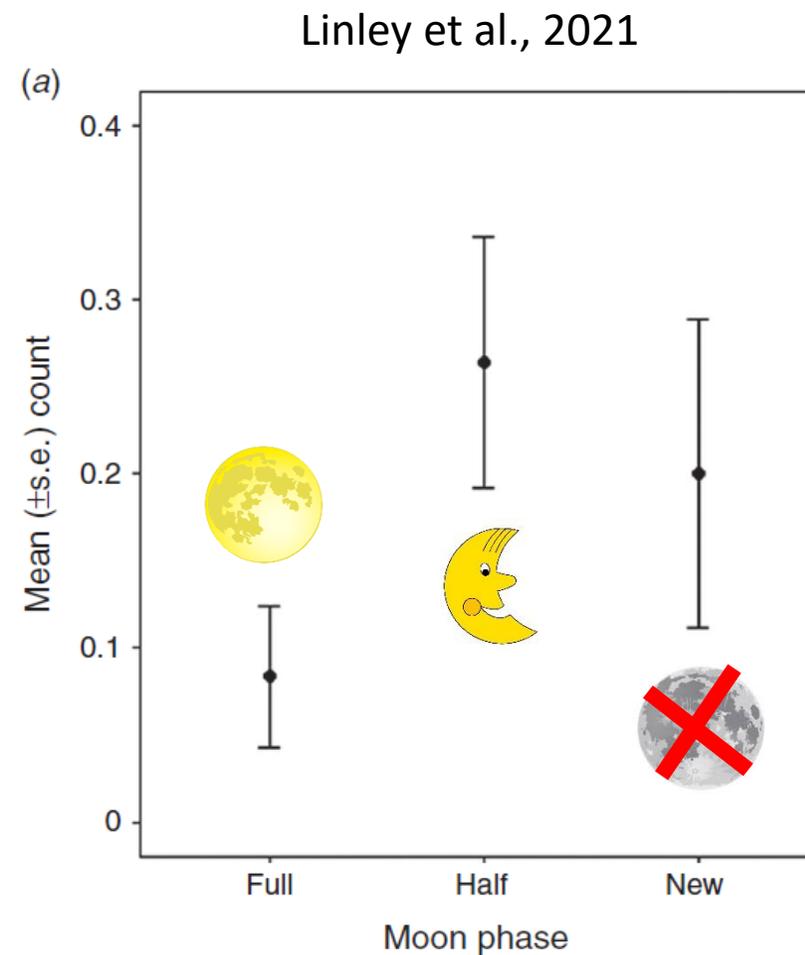
**Chouette de Tengmalm *Aegolius funereus***  
Jovenaiaux & Durand, 1985

# Des espèces déjà sensibles aux variations de la luminosité naturelle

## La Lune inhibe l'activité de nombreuses espèces



Prugh and Golden, 2014



*L'être humain, animal diurne, produit de la lumière artificielle la nuit pour prolonger son activité dans l'obscurité*

*Vivre la nuit est un luxe (une anomalie ?) lorsque l'on est biologiquement diurne...*



## La lumière artificielle la nuit, une pollution mondiale qui continue de croître

- Un tiers de l'Humanité ne voit plus la Voie lactée (Falchi et al., 2016)
- 15% de surface en moins d'obscurité entre 1992 et 2010 en Europe, y compris dans les aires protégées (Gaston et al., 2015)
- Une augmentation d'environ 2% par an en surface et en quantité, en France et dans le Monde (Kyba et al., 2017)

## Et la France n'est pas épargnée

- 85% du territoire français métropolitain pollué par la lumière (ONB, 2021)
- Des éclairages publics et privés

De 2012 à 2016 dans le monde :  
 +2.2%/an de surface éclairée  
 +1.8%/an de radiance  
 Kyba et al., 2017



**Cette pollution lumineuse prend différentes formes**

**=> Pour la biodiversité le problème dépasse largement les enjeux de ciel étoilé**

- **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)**

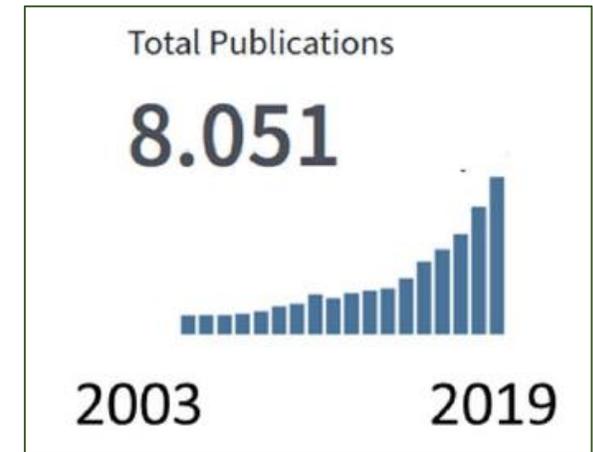
Sordello 2017  
Vertigo



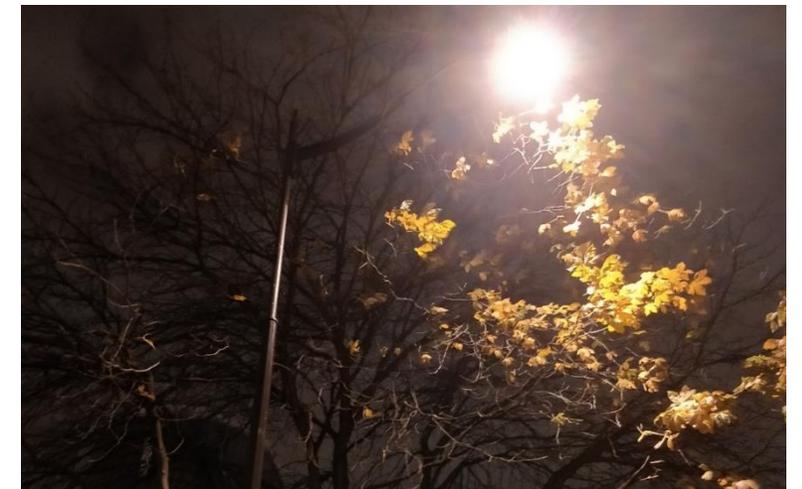
# La pollution lumineuse, une menace pour la biodiversité

Une connaissance ancienne, devenue très abondante depuis une vingtaine d'années sur :

- Différents groupes taxonomiques
- Différents compartiments : aquatiques, terrestres, marins, aériens
- Différents niveaux de biodiversité : individus, populations, relations, écosystèmes, paysages
- Différents traits : alimentation, survie, fécondité, mobilité, chronobiologie, ...



Rodrigo-Comino et al., 2021

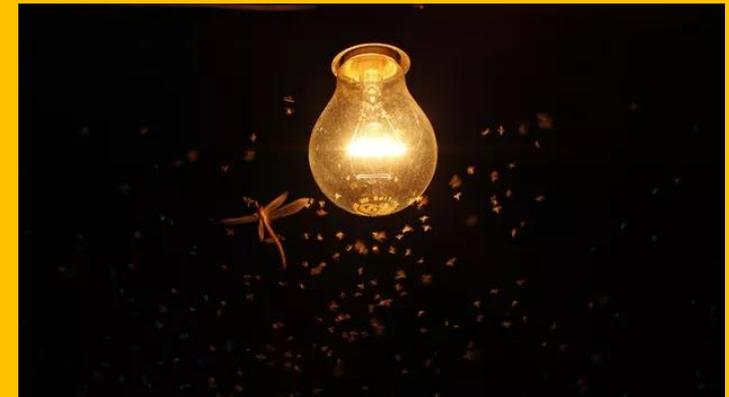


# Un pouvoir élémentaire : le phototactisme

Répulsion

Attraction

Action à distance !

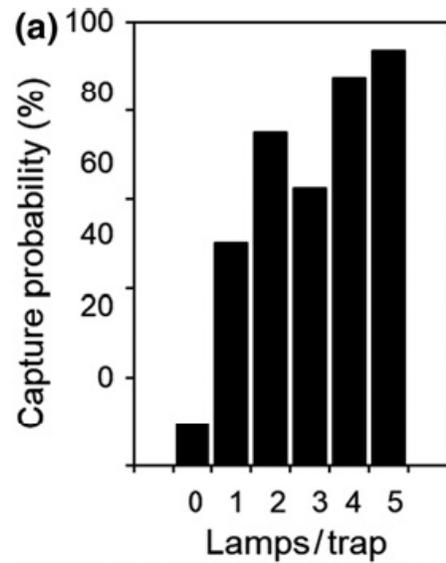


# Pour des lumières très faibles...

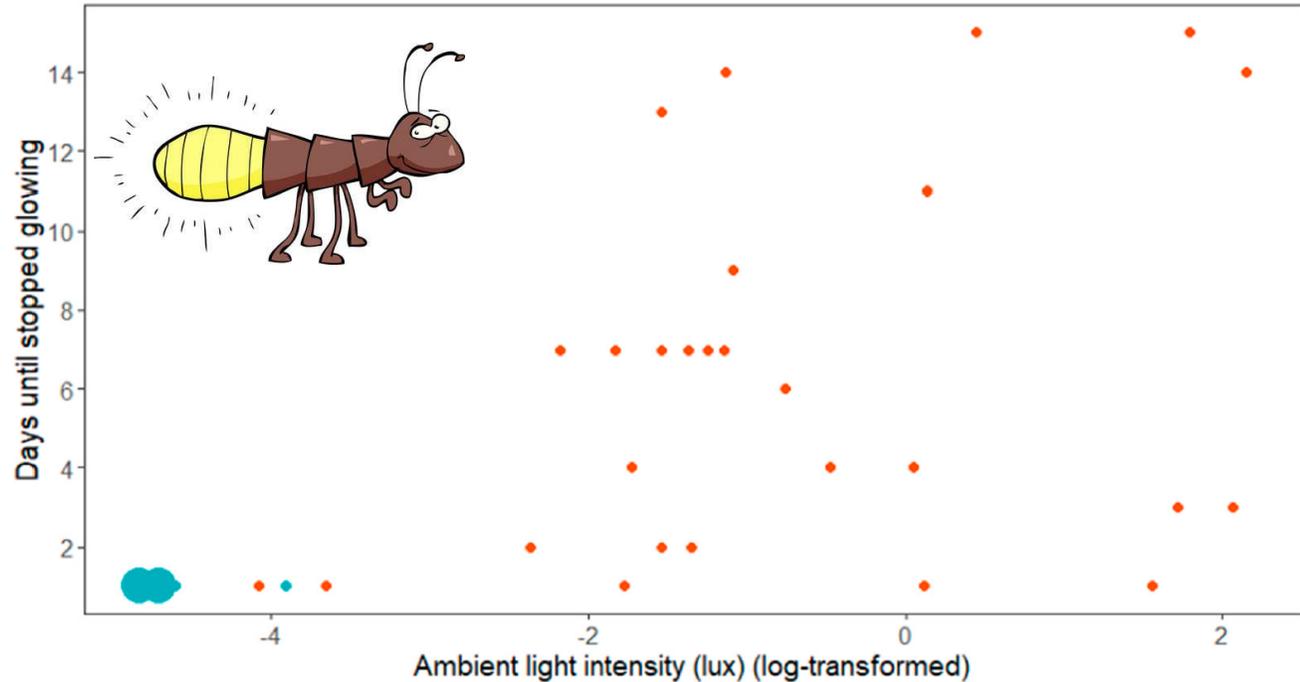
Eccart et al., 2018



(Une seule lampe  
# 1 lux)

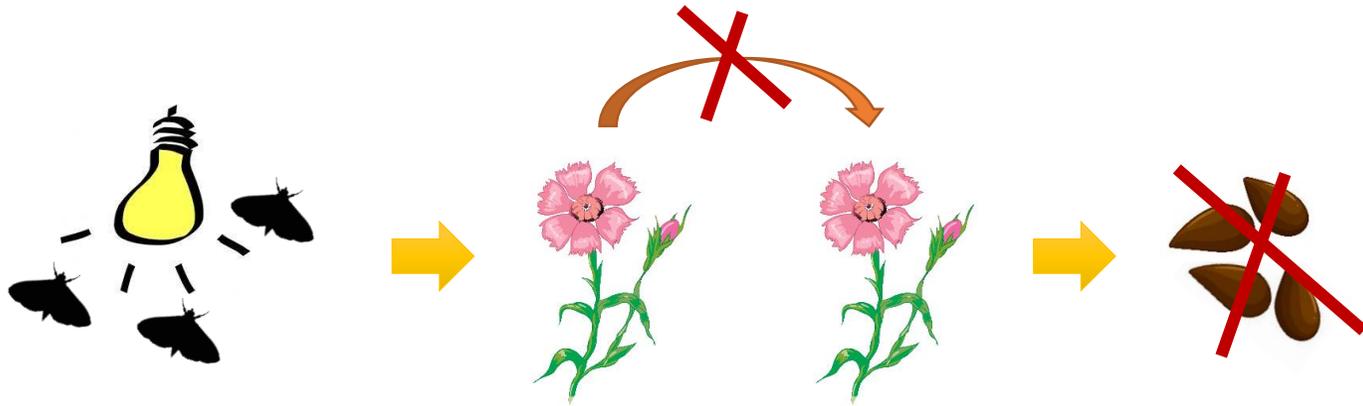


Van den Broeck et al., 2021



# Des interactions perturbées : Exemple de la pollinisation

90% des plantes à fleurs sont pollinisées par des insectes...



- ⇒ Baisse du succès reproducteur des plantes (jusqu'à 13% de fruits en moins)
- ⇒ Diminution du brassage génétique et viabilité des populations
- ⇒ Dégradation des services écosystémiques (agriculture)

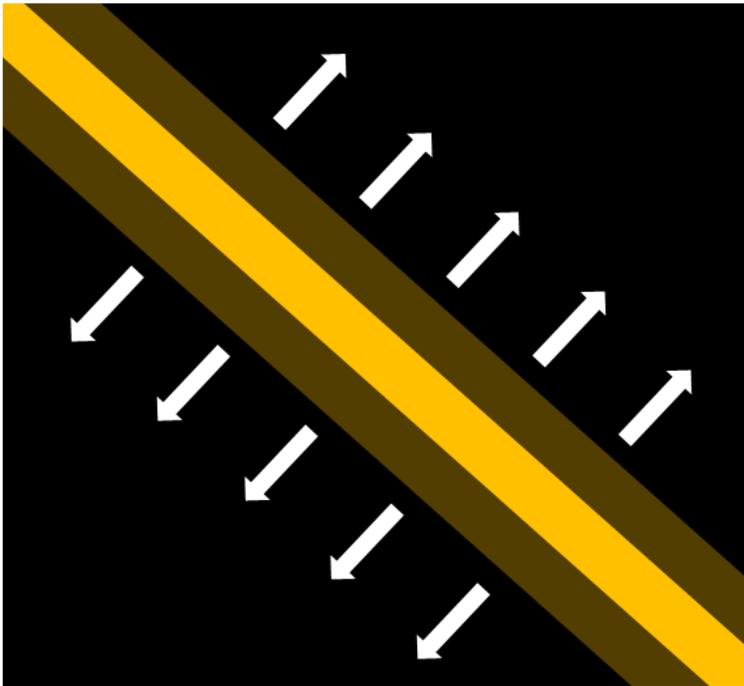
Ex : Knop et al. 2017, Mac Gregor et al. 2016, Giavi et al. 2020, 2021



# Mitage et fragmentation par la lumière artificielle

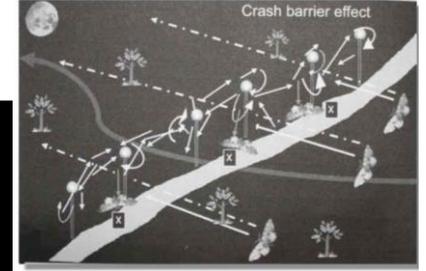
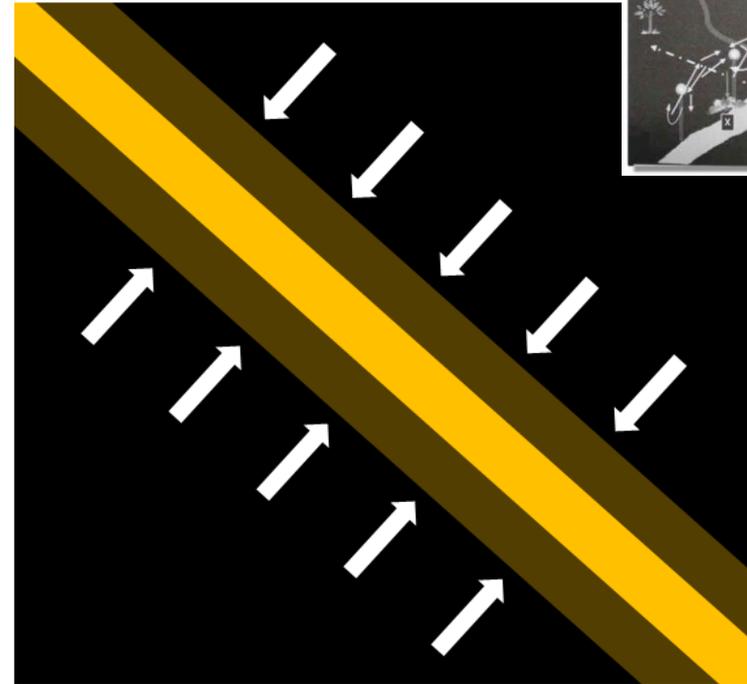


## Fragmentation par **répulsion**



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

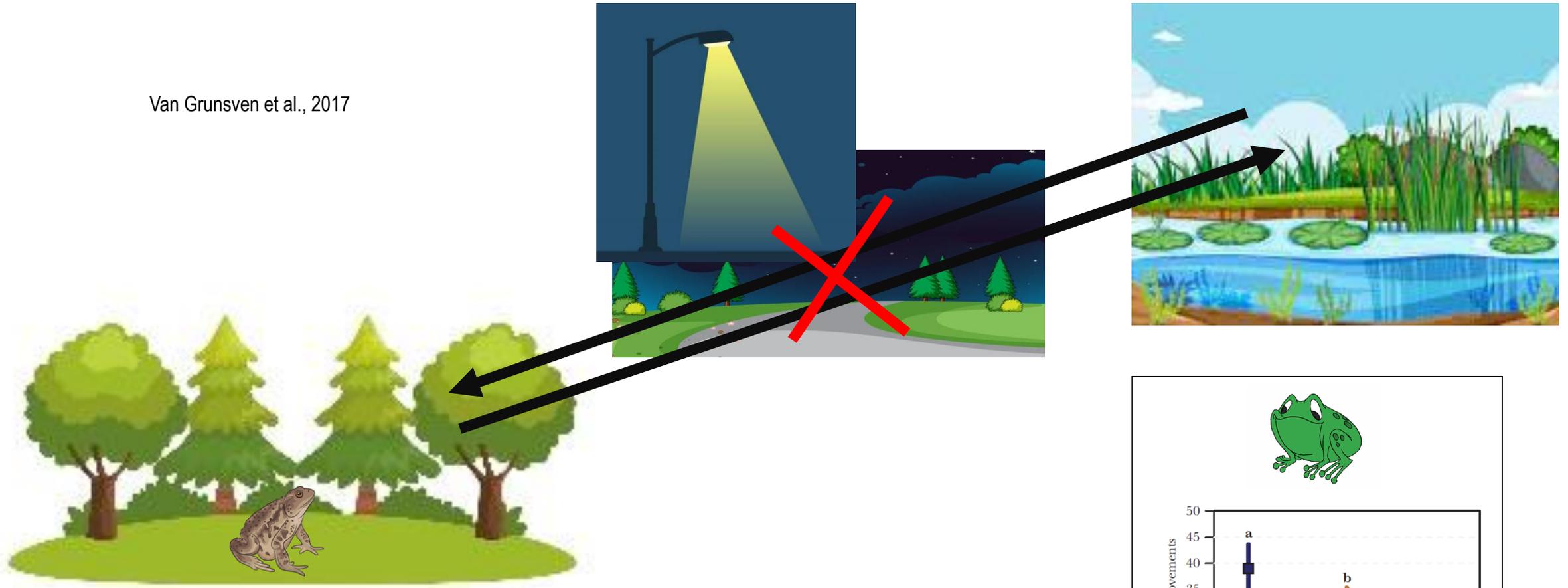
## Fragmentation par **absorption**



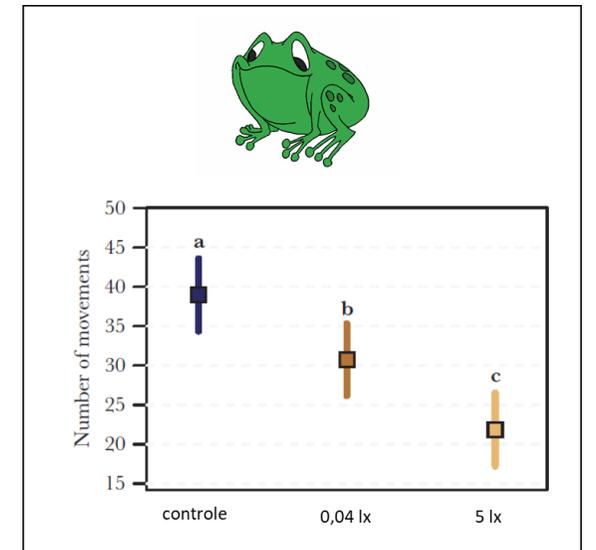
« crash barrier/vacuum effect »  
Théorisé dès 2006 pour les insectes par Eisenbeis

# Migration entravée pour les crapauds

Van Grunsven et al., 2017



Secondi et al., 2021

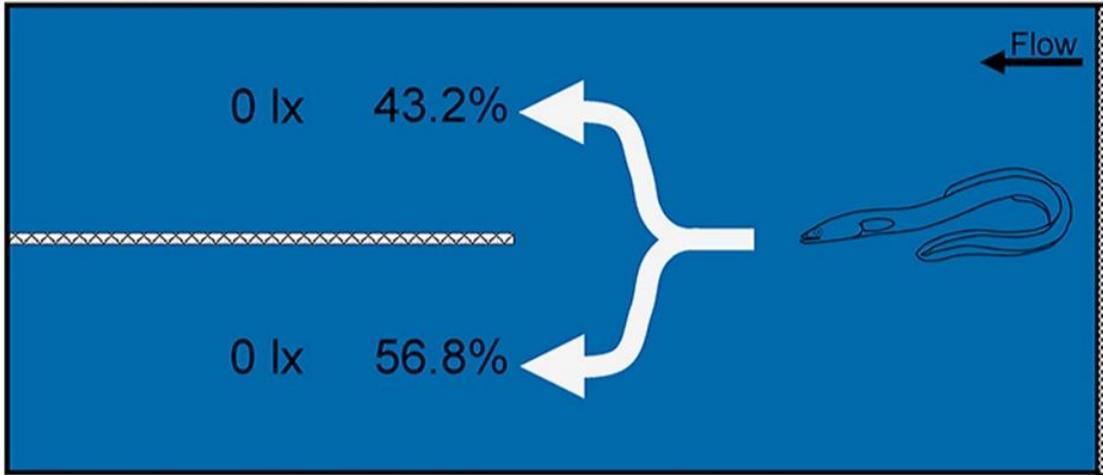


# Fragmentation des milieux aquatiques

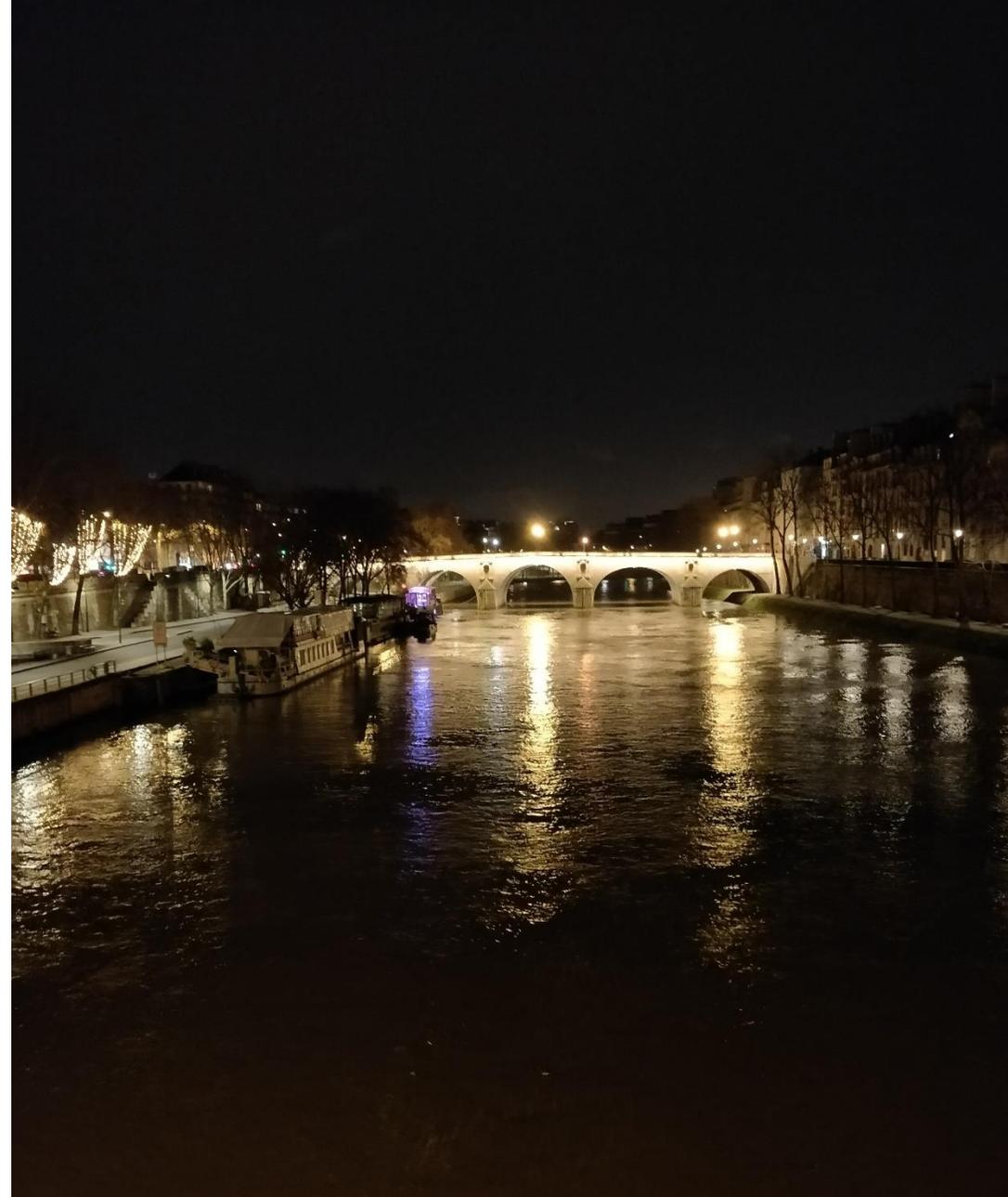
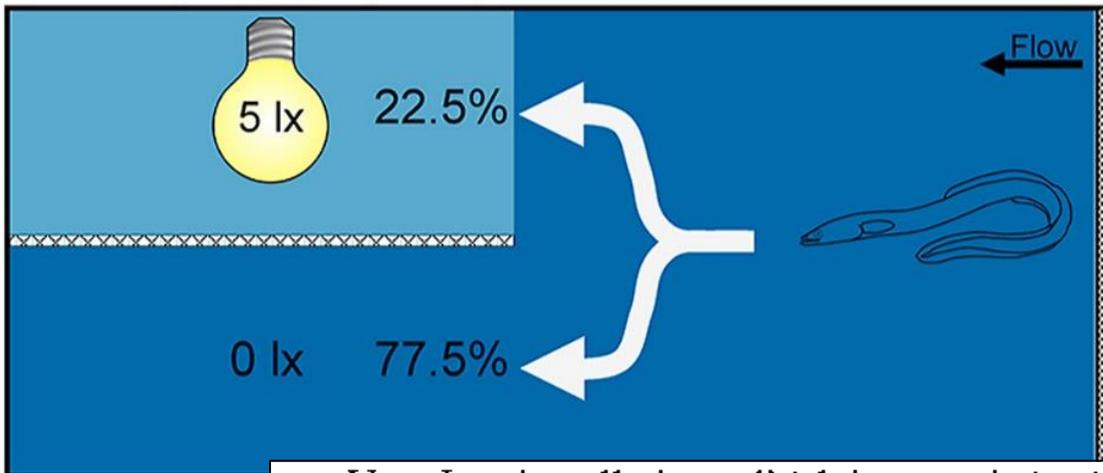
## La lumière, un frein aux déplacements des anguilles

Dark night - both routes unlit

Vowles & Kemp et al., 2021



Artificial light at night (ALAN) - one route illuminated



V. – Les installations d'éclairages visées à l'article 1<sup>er</sup> 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),

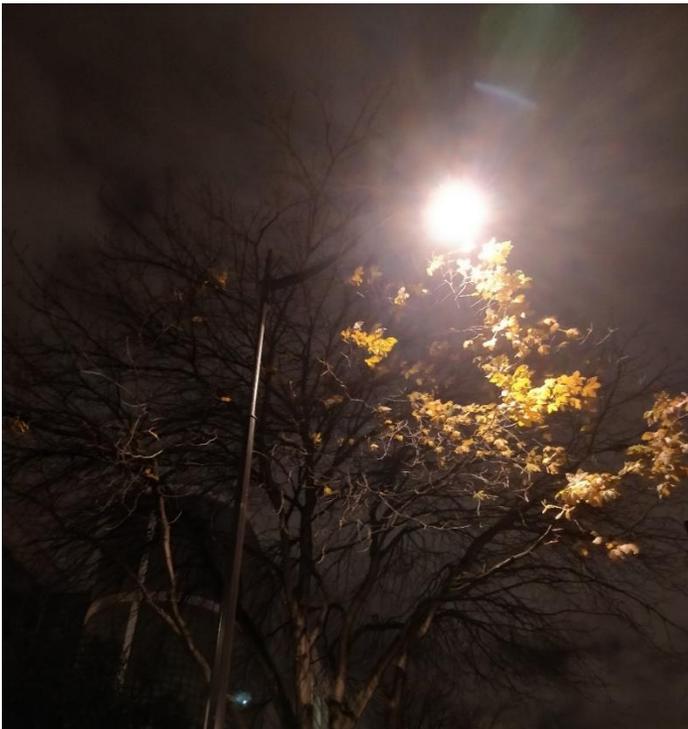
# La lumière artificielle perturbe les cycles du vivant

chez la flore

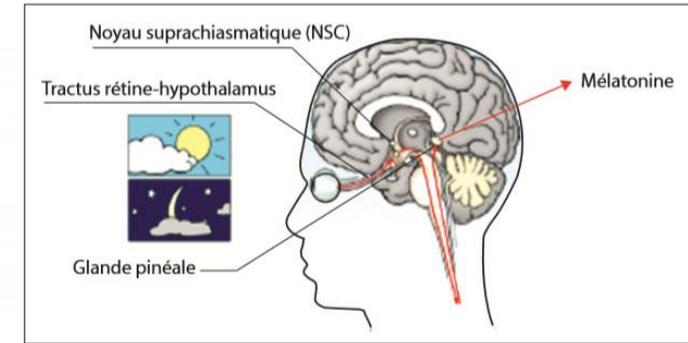
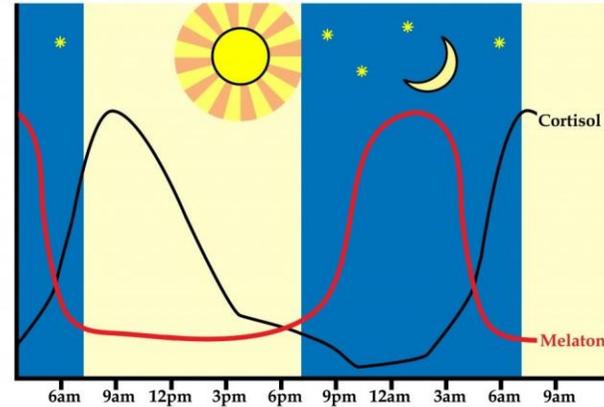
et

chez la faune

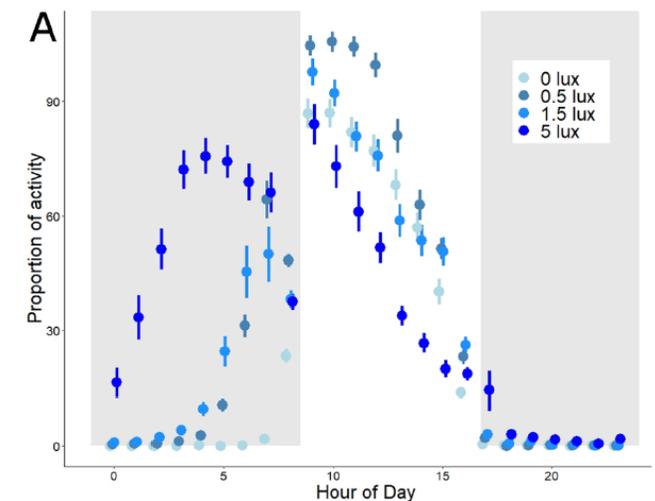
Ex : Matzke 1936, Ffrench-Constant et al. 2016



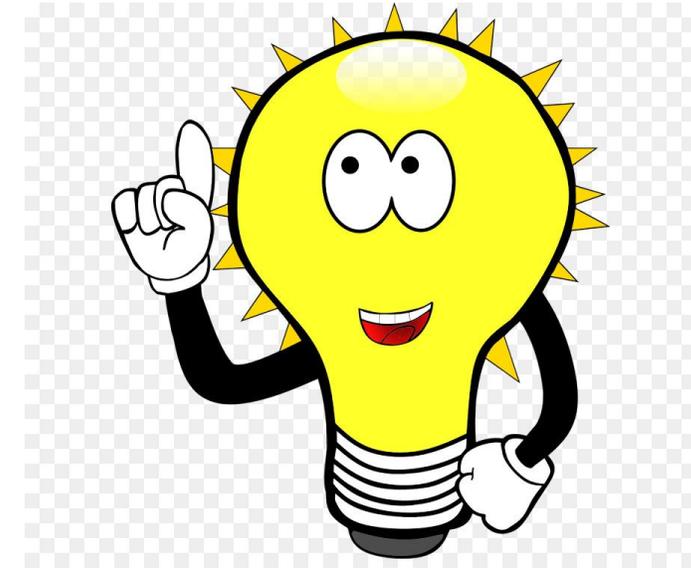
Décalage de 13 à 22 jours de la perte des feuilles des arbres en ville  
Skvareninova et al., 2017



Dominoni et al., 2022



La première réponse doit être la  
**SOBRIETE DE L'ECLAIRAGE**



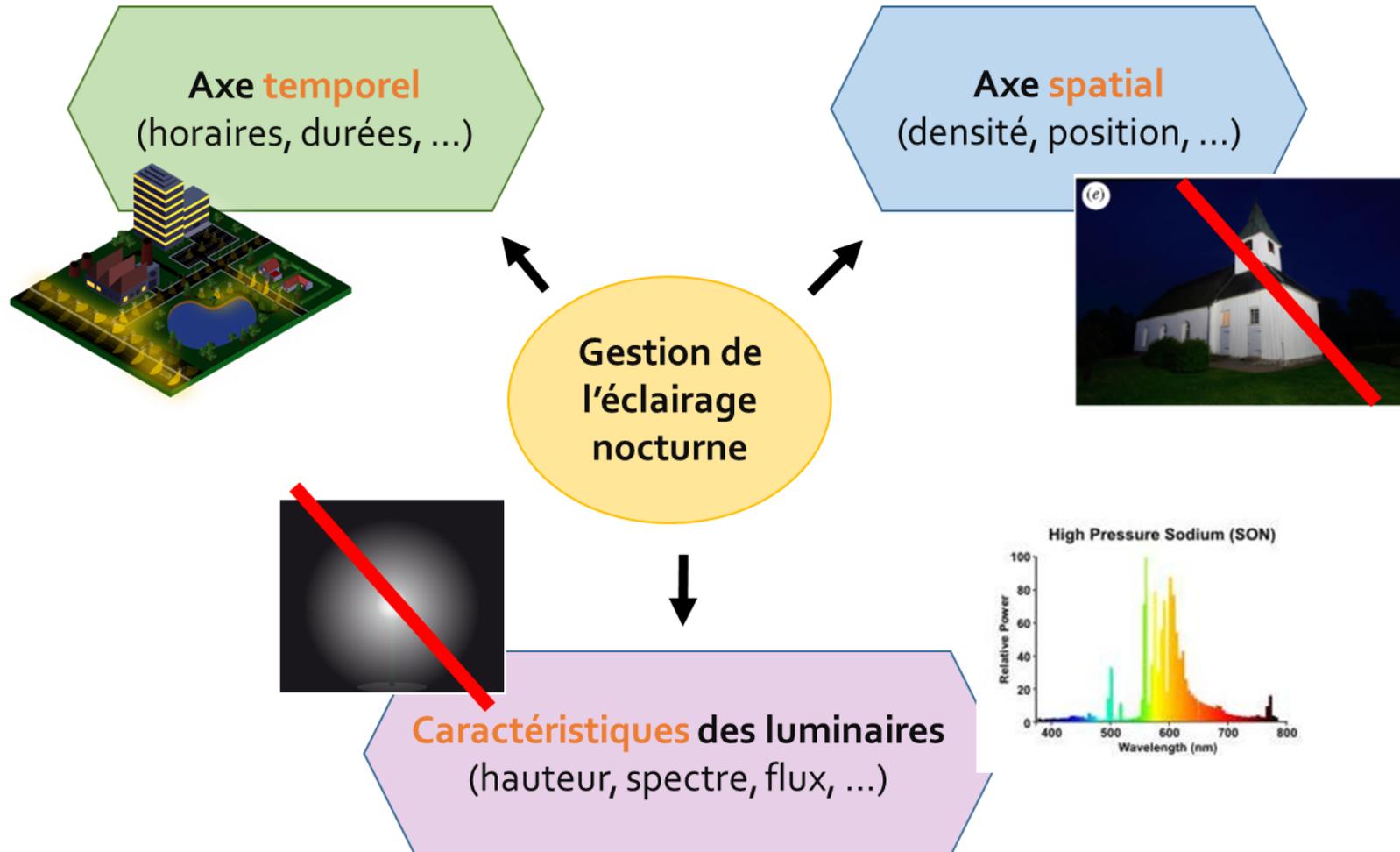
et pas uniquement la  
sobriété énergétique



Se questionner sur l'**opportunité** même d'éclairer  
=> **alternatives** : éclairages passifs, portables, etc.



# Gérer l'éclairage nocturne de manière plus efficace



Un certain nombre de critères sont désormais règlementés selon les usages des éclairages (arrêté ministériel de 2018)

# Une réglementation qui se met en place depuis plus de 10 ans

- Lois Grenelle 2009/2010 et décret « fondateur » du 12/07/2011
- Décret sur les enseignes et les publicités lumineuses du 30/01/2012
  - Entré en vigueur le 01/07/2012, délai de mise en conformité échu (01/07/2018)
  - Extinction entre 1h et 6h du matin (nuances en fonction de la taille des communes)
- Arrêté ministériel sur les vitaines, bâtiments non résidentiels et bureaux du 25/01/2013
  - Extinction entre 1h et 7h du matin (selon activité)
  - En vigueur depuis le 25/07/2013 puis abrogé car repris dans l'arrêté 2018
- Loi Biodiversité, Nature et Paysages du 08/08/2016
  - Reconnaissance de la dimension nocturne de l'environnement et des paysages
  - TVB : Prise en compte de la gestion de la lumière artificielle la nuit
  - Pollution lumineuse sous-marine
- Deux arrêtés ministériels du 27/12/2018
  - Prescriptions techniques par catégories d'usages sur les différents paramètres de l'éclairage (Horaires, Température de couleur, ...)
  - Sites astronomiques d'importance nationale

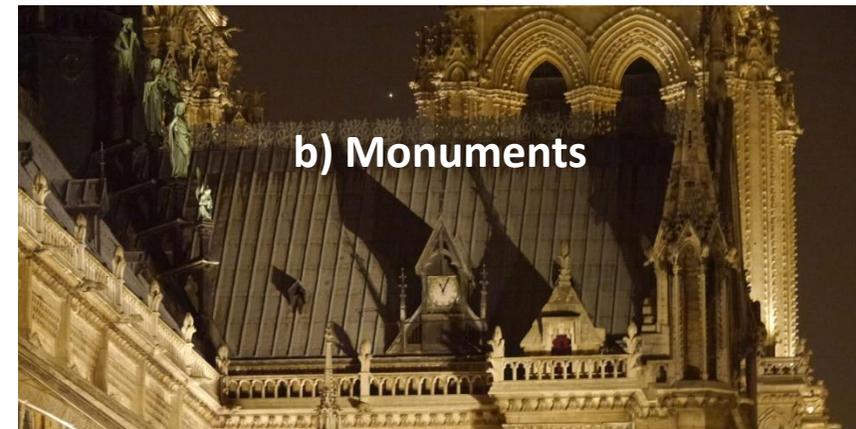
Catégories telles que définies par la réglementation (décret pour la prévention et la limitation des nuisances lumineuses, 2011)



a) Eclairage sécurité/confort (notamment rues)



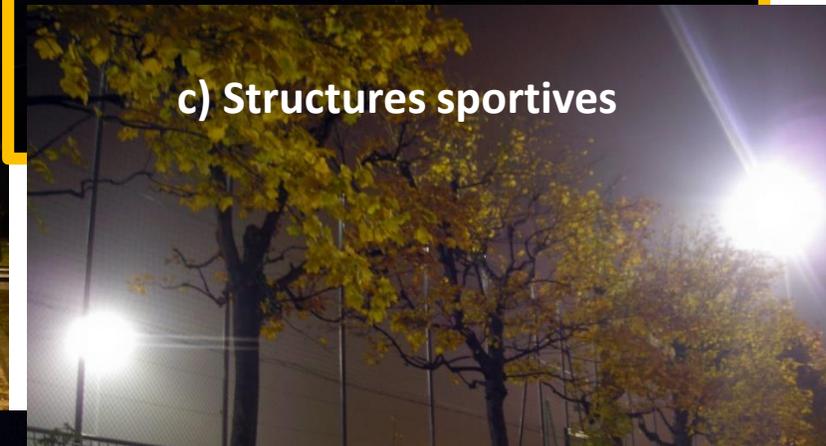
Enseignes lumineuses



b) Monuments



e) Parcs de stationnements



c) Structures sportives



b) Parcs et jardins



g) Chantiers



d) Bureaux/Commerces



f) Evenementiels

# La mise en valeur

- De nombreux impacts documentés :
  - Perte des feuilles retardées, impacts sur pollinisation, etc.
  - Sur bâtiments (clochers) :
    - Deux à trois fois moins de clochers occupés par des colonies de chauves-souris lorsqu'ils sont éclairés même partiellement  
Étude sur 110 églises (Rydell et al., 2018)
    - Corrélation entre éclairage et absence de Chouette effraie  
Étude sur 2768 églises en Pologne (Zmihorski et al., 2020)
- Une catégorie d'usage pourtant encore très libre
  - => Eviter strictement l'éclairage des végétaux
  - => Eviter les aplats sur les bâtiments



# Interdiction d'éclairer directement les surfaces en eau Mesure qui s'applique à toutes les catégories d'éclairage



V. – Les installations d'éclairages visées à l'article 1<sup>er</sup> 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),

# Eclairer le moins possible au-dessus de l'horizontale

Une lumière perdue/inutile génératrice des halos

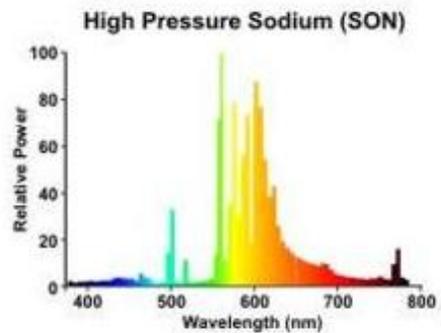


Règlementation éclairages a et e (parkings) :

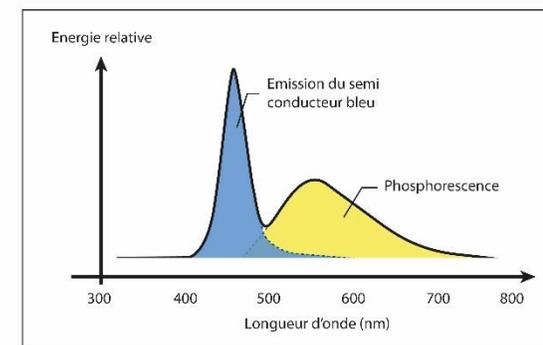
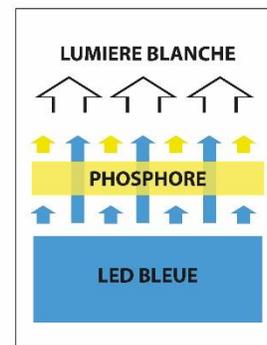
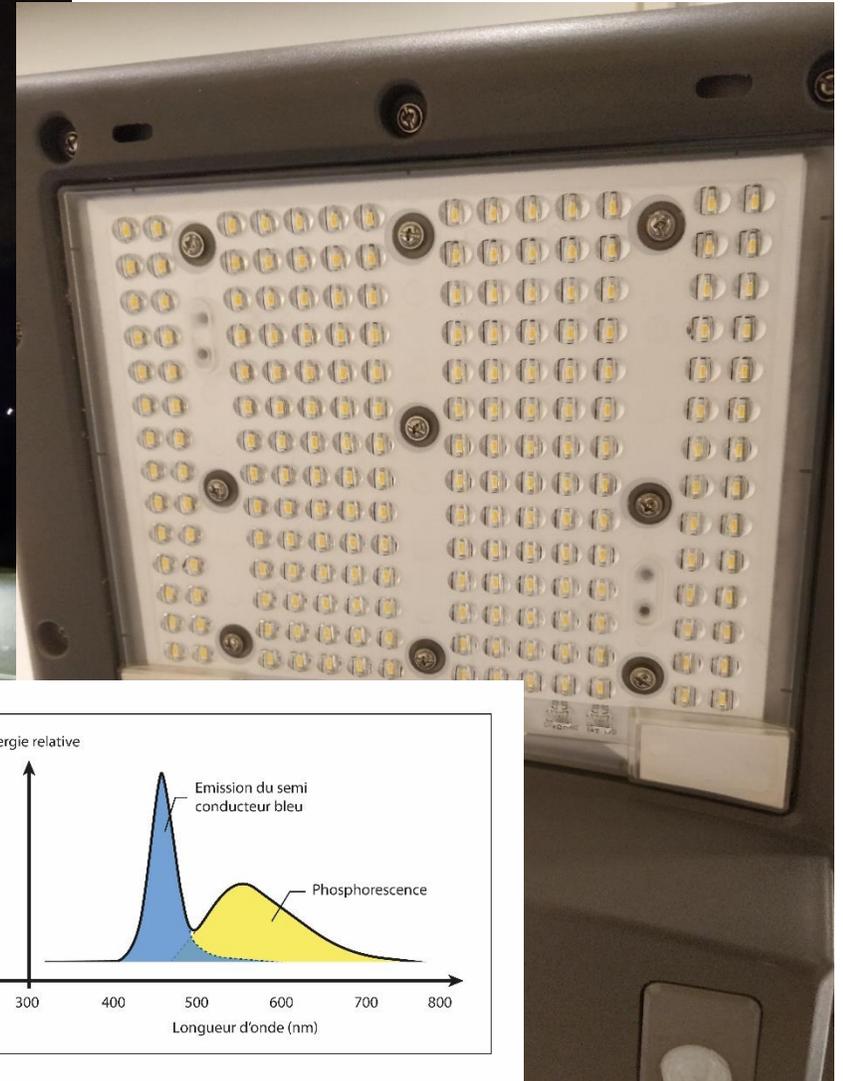
- > 01/01/2020 :  
quantité au-dessus  
horizontale < 4% sur  
site
- < 01/01/2020 : si 50%  
ou plus du flux au  
dessus de l'horizontal  
=> à retirer au plus tard  
en 2025

# La pollution lumineuse change de ton...

Lampes à décharge  
Par exemple à vapeur de Sodium



Diode Electro Luminescente (LED)  
Composants électroniques



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

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

Légende :

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

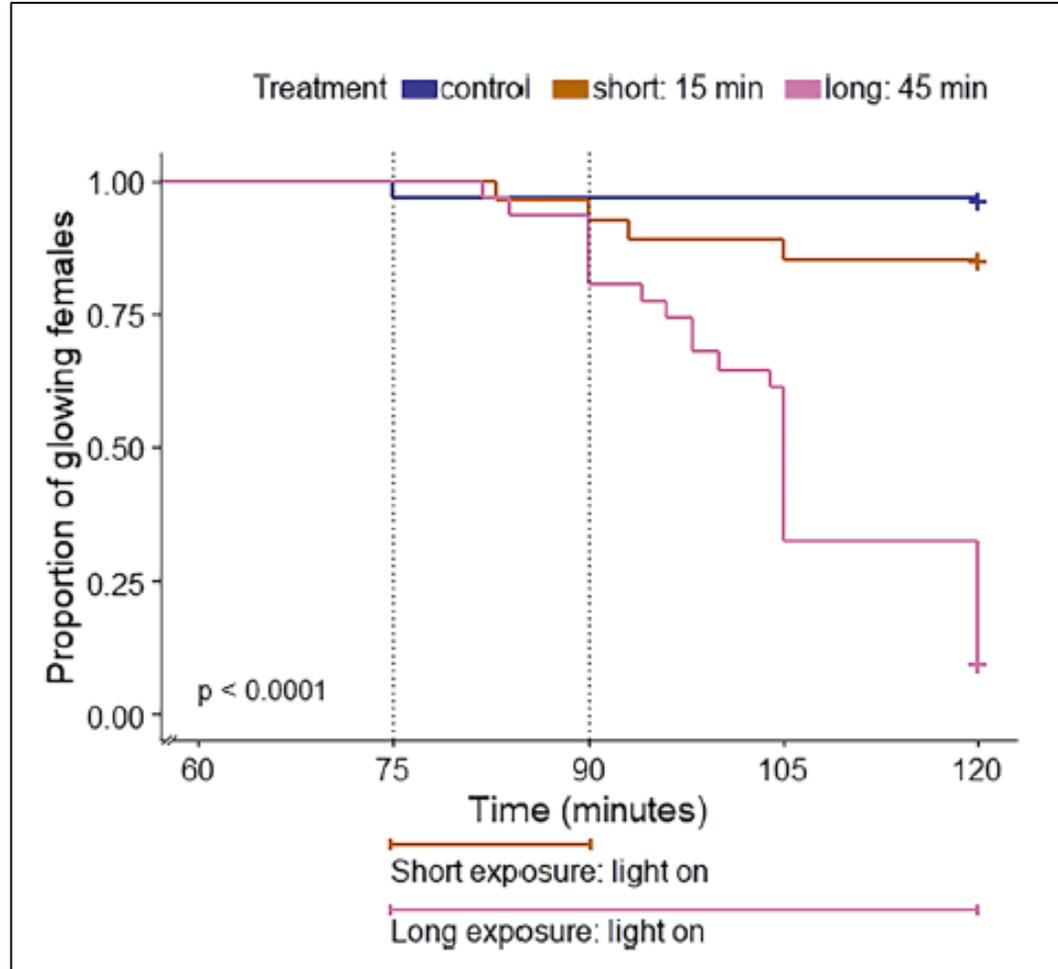
Sordello, 2017 d'après Musters et al. 2009

# Quelle composition spectrale privilégier ?

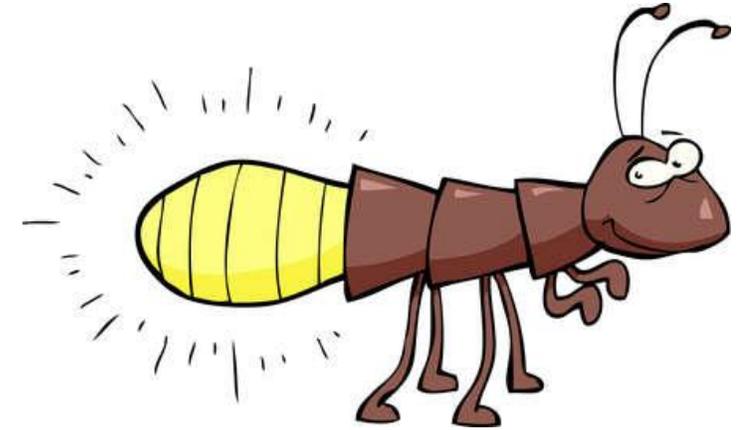
- Privilégier les spectres étroits situés dans l'ombre => T entre 1700 et 2200 K
- Règlementation impose 3000 K max. pour certains éclairages, moins dans certains espaces naturels
- Le Sodium était clairement un atout sur ce point => évaluer la pertinence de rénover...



# Réduire au maximum l'éclairage en durée



Elgert et al. 2020



Les femelles de vers lumineux ont plus de probabilité de cesser leur bioluminescence lorsque l'éclairage est maintenu longtemps (> 15 min)

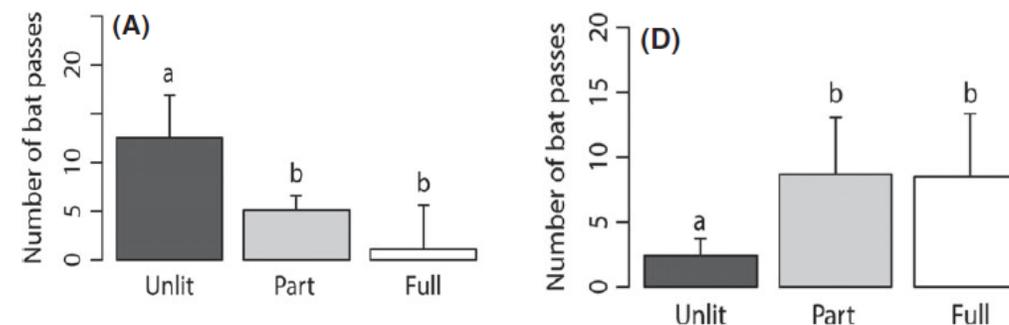
# Réduire au maximum l'éclairage en durée

## *La coupure franche en cœur de nuit*

- Plusieurs milliers de communes la pratiquent en France avec des modalités variables (totale, partielle)
- Essentiellement des communes rurales mais de plus en plus de villes moyennes et grandes s'y mettent (crise de l'énergie)
- Restauration du ciel étoilé immédiate, qualité du sommeil, économie d'énergie
- Biodiversité : Très peu d'évaluation. Bénéfice dépendant de l'horaire d'extinction pour les espèces crépusculaires (Azam *et al.*, 2016 ; Day *et al.*, 2015). Résultats encourageants (retour d'espèces lucifuges)



A = Murin / D = Pipistrelle



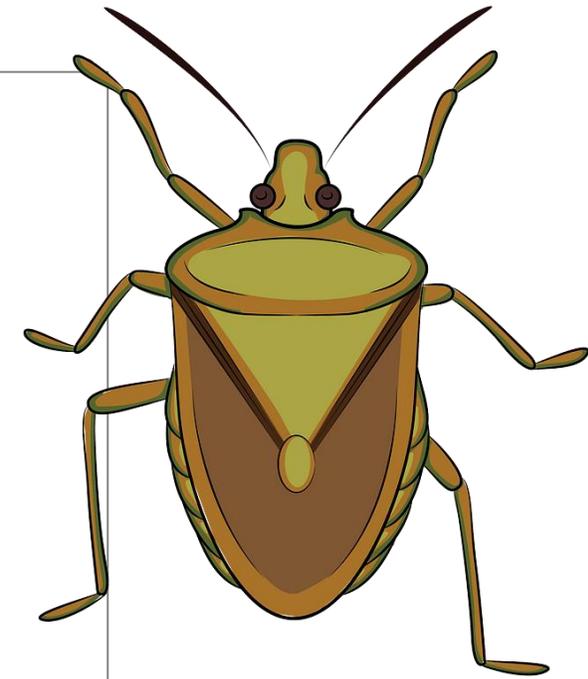
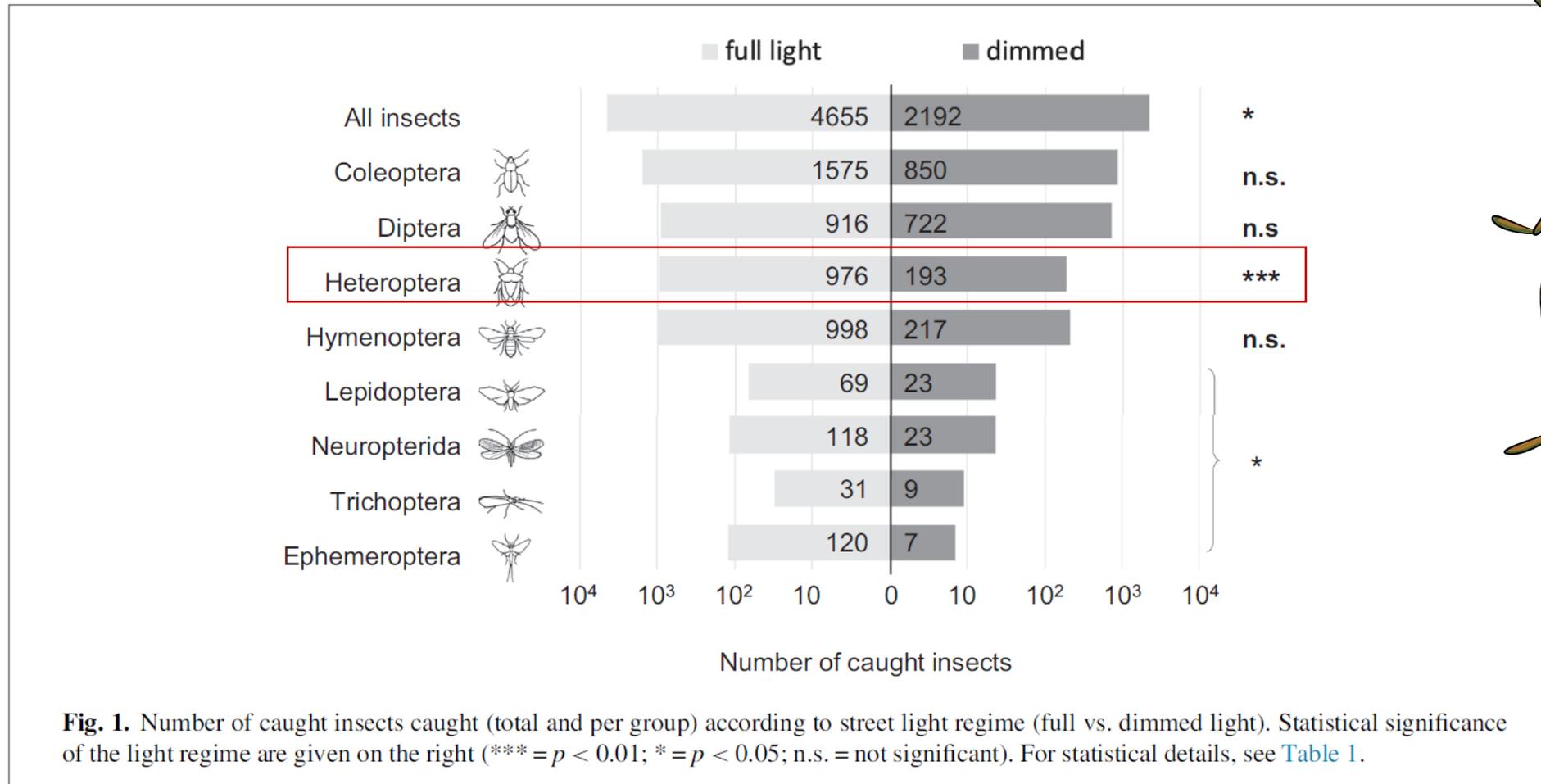
Azam et al., 2015

# Réduire au maximum l'éclairage en durée

## *L'éclairage intermittent*

La technologie permet désormais de nuancer l'extinction (dimming, détection, etc.)

⇒ Quel bénéfice du dimming sur la biodiversité ?

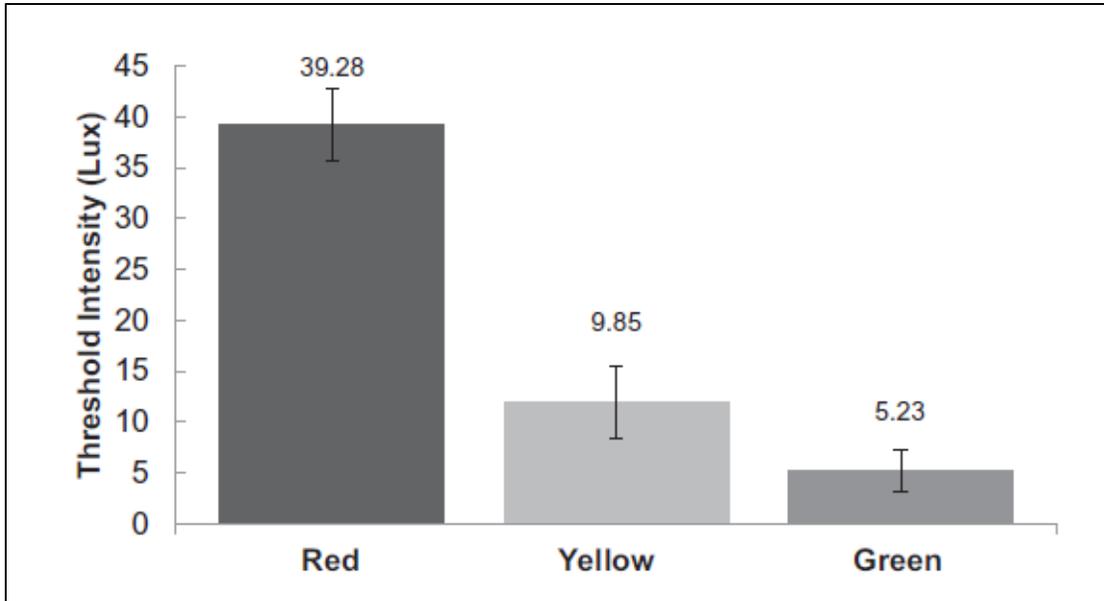


Bolliger et al., 2020

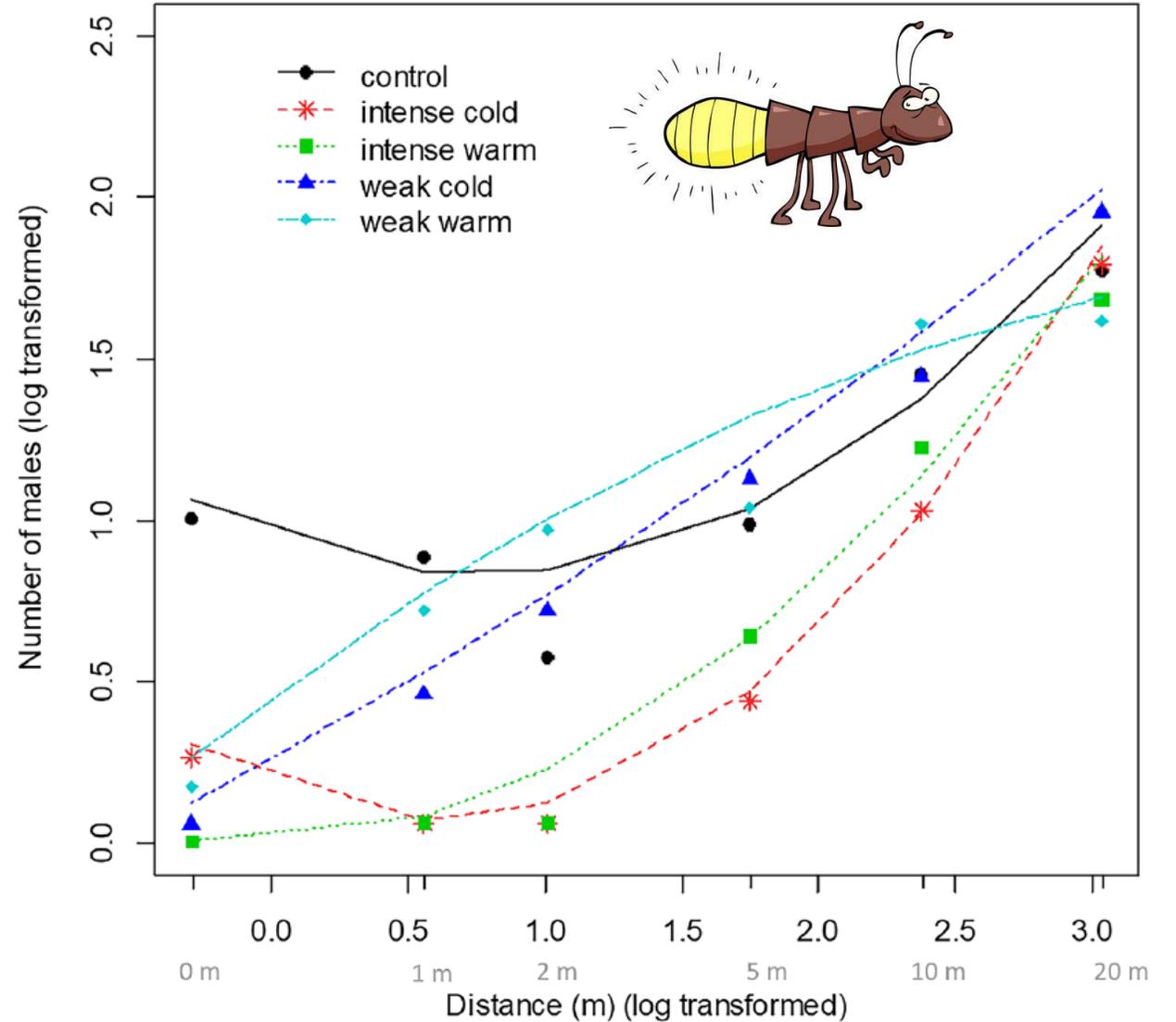
# Qu'est-ce qui compte avant tout ?

Présence >> Quantité >> Durée >> Couleurs

Cruz et al., 2018



Van den Broeck et al., 2021



## Rénover forcément ?

⇒ de nombreuses possibilités sans tout changer

- ✓ Rediriger le flux vers le sol lorsque cela est possible (exigé par la réglementation sur les éclairages installés avant le 01/01/2020 qui peuvent l'être)
- ✓ Pratiquer ou augmenter la plage d'extinction en coeur de nuit
- ✓ Abaisser les puissances y compris sur des lampes à décharge
- ✓ Eteindre un lampadaire sur deux
- ✓ Déposer les points lumineux inutiles
- ✓ Faire du retro-fit (mats conservés)



# Les LED : Comment appréhender cette nouvelle technologie ?

## Principaux avantages



- Economie d'énergie



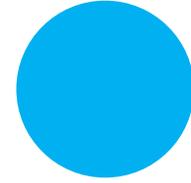
- Possibilités de pilotage



- Lumière plus ciblée

## Principaux inconvénients

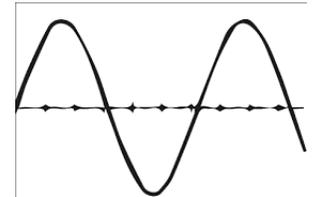
- Proportion de bleue potentiellement forte



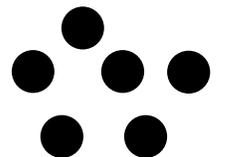
- Risque d'éblouissement pour la faune



- Effet « papillonnement »



- Effet « rebond » (multiplication des points lumineux à moindre couts)



Si LED => LED ambrées, en limitant l'effet rebond, en atténuant l'éblouissement, en s'assurant de la fréquence de scintillement

# Biodiversité & Trame noire

Allons vers un éclairage plus raisonné

Jeudi 22 septembre 2022 - Caen



Merci pour votre attention