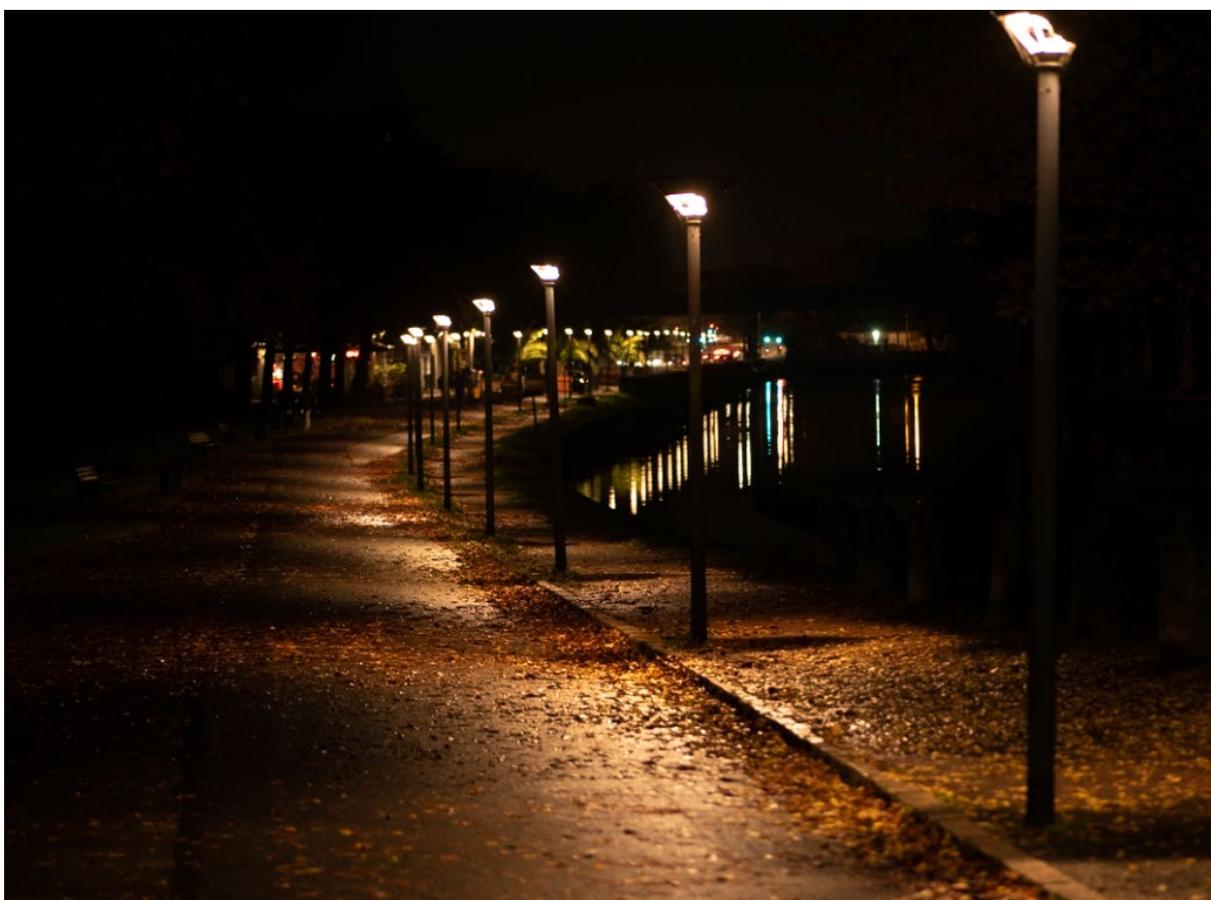


Trame noire en Hauts-de-France

Mission d'assistance de la DREAL et du
ministère de la transition écologique et
solidaire en 2019

Rapport d'étude, décembre 2019



Crédit photo : Olivier PICHARD cc by sa 4

Avec la
participation
du



**PRÉFET
DE LA RÉGION
HAUTS-DE-FRANCE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

Trame noire en Hauts-de-France

Mission d'assistance de la DREAL en 2019

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	31/12/2019	

Affaire suivie par

Olivier PICHARD - Département Territoire Ecologie Energie Risques (TEER) – Unité Aménagement Milieux Naturels Biodiversité (AMNB)
Tél. : 03 20 49 63 76
Courriel : Olivier.Pichard@cerema.fr
Site de Lille : Cerema Hauts-de-France – 44 ter rue Jean Bart, CS 20275 59019 Lille

Références

n° d'affaire : C18NE0108
Partenaire : Dreal Hauts-de-France (M. Frédéric Bince / Mme Bénédicte Lefevre)
Devis n° 06/11/2018

Ce rapport inclut également des chapitres qui ont été financés par le ministère de la transition écologiques et solidaire, Direction de l'eau et de la biodiversité.

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	PICHARD Olivier HEMERY Camille	31/12/2019	
Contrôlé par	Anne Claire DE ROUCK	11/02/2020	
Validé par	Etienne CHERMETTE	30/01/2020	

Visa du Chef de département Territoires Écologie Énergie Risques

Date : 20/02/2020


Corinne LAMPIN

Propriété intellectuelle

Conformément au code de la propriété intellectuelle, les livrables produits par le Cerema sont la propriété de leur auteur : droits moraux aux personnes physiques nommément désignées sur le rapport, droits patrimoniaux au Cerema. En conséquence, un exemplaire du rapport sera conservé à la documentation du Cerema pour une exploitation à des fins méthodologiques. Ces dispositions légales vous engagent à respecter l'obligation minimale de citation de l'auteur dans toutes vos communications impliquant notre production. De son côté, le Cerema s'engage à toujours citer le demandeur en tant qu'organisme ayant financé l'étude. Indépendamment de ces obligations minimales, des spécifications particulières visant à l'application du droit d'auteur (procédé et conditions de divulgation) peuvent être indiquées lors de la transmission du document final.

Certification qualité



Les prestations du Cerema Hauts-de-France sont menées dans le respect de sa politique Qualité.

Le Cerema Hauts-de-France est certifié ISO 9001 (version 2015) pour ses trois implantations (Siège, Sequedin et Saint-Quentin) depuis le 16 mars 2017.

Mots clés : Trame noire, biodiversité nocturne, trames verte et bleue, continuités écologiques.

Résumé de l'étude :

La prise en compte de la Trame noire dans tout projet d'aménagement est une nécessité réglementaire depuis les lois Grenelle I et II et tout particulièrement depuis la loi biodiversité de 2016. La publication de l'arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses a édicté des mesures concrètes de mise en œuvre de la lutte contre la pollution lumineuse. Les services de la DREAL ont sollicité le Cerema pour faciliter la mise en œuvre de cette politique publique et notamment pour :

- réaliser un état des lieux des actions entreprises en Hauts de France pour lutter contre les nuisances lumineuses ;
- établir une liste des espèces de chauves-souris les plus sensibles à la pollution lumineuse ;
- rédiger des fiches pratiques pour alimenter la boîte à outils "Eviter Réduire Compenser" de la DREAL Hauts-de-France ;
- dégager les pistes d'actions à réaliser en 2020 pour mettre en œuvre la réduction des nuisances lumineuses en Hauts-de-France.

Table des matières

1	Pourquoi lutter contre la pollution lumineuse ?.....	8
1.1	L'éclairage nocturne, marqueur de l'essor économique	8
1.2	Pollution lumineuse ou nuisances lumineuses ?	8
2	Effets négatifs de la pollution lumineuse sur la biodiversité	10
2.1	Espèces impactées et effets provoqués	10
2.1.1	Altération de la biodiversité nocturne par la lumière artificielle	10
2.1.2	Spécificité des impacts des longueurs d'ondes par groupe biologique	11
2.1.3	Effet cascade : la flore aussi touchée	12
2.2	Espèces impactées dans la région Hauts-de-France	14
2.2.1	Chiroptères	14
2.2.2	Oiseaux	24
3	Organisation de l'éclairage public en Hauts-de-France.....	27
3.1	Compétence du maire	27
3.2	Compétence du maire transférable totalement ou partiellement	28
3.3	Gestion de l'éclairage par les communes	29
3.3.1	Exemple de la commune de Lille	29
3.3.2	Exemple de la commune de Douai.....	30
3.4	Gestion de l'éclairage par les gestionnaires de la voirie	32
3.5	Autorités Organisatrices de la Distribution d'Electricité des Hauts-de-France	32
3.5.1	Fédération départementale de l'éclairage de la Somme.....	34
3.5.2	Syndicat d'énergie de l'Oise et Syndicat des Energies Zones Ouest de l'Oise	35
3.5.3	Union des Secteurs d'Énergie du Département de l'Aisne (USEDA)	36
3.5.4	Syndicat Intercommunal d'Energie des Communes de Flandre (SIECF)	38
3.5.5	Fédération Départementale de l'Energie du Pas-de-Calais.....	39
3.6	Point de vue d'un Parc Naturel Régional : Caps et Marais d'Opale...	39
3.7	Limites rencontrées	40
4	Mettre en place une trame noire	42
4.1	Définition d'une trame noire	42
4.2	Pourquoi mettre en place une trame noire ?.....	43

4.3	Proposition d'étapes pour la mise en place d'une trame noire	43
4.3.1	Phase de diagnostic	44
4.3.2	Identification du réseau écologique : réservoirs de biodiversité et corridors	48
4.3.3	Identification des zones de conflits entre le réseau écologique et l'éclairage nocturne	51
4.3.4	Plan d'action pour la préservation et la restauration du réseau écologique	54
4.3.5	Processus de suivi et à terme d'évaluation pour maintenir ou réviser le réseau écologique	56
4.4	Conclusion sur la trame noire	59
5	Comment réduire les impacts ?.....	61
5.1	Plusieurs voies possibles pour réduire les impacts.....	61
5.2	Comment gérer l'éclairage nocturne ?.....	61
5.2.1	Dimension spatiale de l'éclairage	62
5.2.2	Dimension temporelle de l'éclairage	62
5.2.3	Zoom sur l'extinction nocturne.....	63
5.2.4	Agir sur les températures de couleur.....	67
5.2.5	Agir sur les types de luminaire.....	69
5.3	Agir sur les paysages nocturnes.....	70
5.4	Labels.....	72
6	Vers une meilleure appropriation des enjeux de pollution lumineuse en Hauts-de-France.....	73
6.1	Offrir des outils aux collectivités pour s'inscrire dans une démarche de réduction de la pollution lumineuse.....	73
6.2	Faire adhérer les collectivités et les habitants à une démarche collective en faveur de la qualité du ciel nocturne.....	74
7	Outils disponibles et documents de référence.....	76
8	Pistes d'actions à réaliser en 2020 pour mettre en œuvre la réduction des nuisances lumineuses en Hauts-de-France.....	77
8.1	Agir auprès des AODE	77
8.2	Agir auprès des organismes de conseil auprès des collectivités	78
8.3	Agir auprès des services instructeurs de l'Etat et des collectivités territoriales	78
8.4	Mettre en place un plan de communication d'envergure	78
8.5	Acquérir des connaissances sur la sensibilité des espèces nocturnes sensibles à la pollution lumineuse en Hauts-de-France.....	80
8.6	Faire une synthèse des sources de financements disponibles	81

8.7 Synthétiser et collecter les retours d'expériences.....	81
9 Bilan des personnes contactées	82
10 Définitions	84
10.1 Lux (lx).....	84
10.2 ULOR	84
10.3 Longueur d'onde (nm)	84
10.4 Ballast électronique	85
10.5 LED	85
10.6 Principales grandeurs physiques de l'éclairage.....	85
10.6.1 Luminance (L).....	85
10.6.2 Eclairage (E).....	85
10.6.3 Température de couleur (T).....	85
10.6.4 Indice de rendu de couleur (IRC).....	86
10.6.5 Efficacité lumineuse.....	86
10.6.6 Lien entre température de couleur et longueur d'onde	86
11 Documents de référence.....	87
11.1 Principales références thématiques	87
11.1.1 Trame noire	87
11.1.2 Vers un éclairage "juste".....	87
11.1.3 Sujets transversaux	87
11.1.4 Chartes de bonne pratique	87
12 Bibliographie	89
13 Annexes.....	96
13.1 Compte rendu entretien téléphonique CEREMA DTerNP/syndicat de l'énergie des Hautes-Pyrénées 08 juillet 2019	97
13.2 Compte rendu réunion éclairage public Ville de Lille – 15 juillet 2019 102	
13.3 Compte rendu de réunion téléphonique M. Roger Couillet, ville de Douai – 31 juillet 2019.....	105
13.4 Compte rendu entretien PNR Cap et Marais D'Opale – 6 août 2019 109	
13.5 Compte rendu d'entretien avec la FDE 80 du 12 septembre 2019	111
13.6 Compte rendu entretien SIECF – 15 novembre 2019	114
13.7 Compte rendu entretien avec l'USEDA – 27 novembre 2019.....	117

1 Pourquoi lutter contre la pollution lumineuse ?

1.1 L'éclairage nocturne, marqueur de l'essor économique

L'homme, mammifère diurne, n'a pas une vision spécialement adaptée pour voir la nuit. Depuis la découverte du feu il y a 450 000 ans, il n'a cessé de trouver toutes les solutions pour s'éclairer la nuit grâce à la paille et la graisse, aux lampes à huiles, aux chandelles, au pétrole puis à l'électricité.

De nos jours, la lumière artificielle fait partie intégrante de notre mode de vie. La lumière peut aujourd'hui fonctionner 24 heures sur 24 et ce, le plus naturellement du monde (Bertin, Paquette 2015). Autrefois utilisé exclusivement dans le but de favoriser et de prolonger l'activité humaine, il relève désormais d'enjeux économiques, récréatifs, sécuritaires, et politiques majeurs. Depuis les années 1980, la lumière artificielle s'inscrit dans une dynamique d'expérience nocturne : la ville se vend et se met en valeur par le recours à une esthétique de la lumière (Bertin, Paquette 2015). L'éclairage artificiel est donc un phénomène complexe et global, qui, dès lors, a contribué au développement des villes et à un changement quant à la manière de concevoir la ville la nuit.

Cependant, son usage souvent excessif et inadapté est fortement questionné depuis une quarantaine d'années, compte tenu de ses impacts, que ce soit sur le paysage, la santé humaine, ou encore l'environnement (Auricoste, Landel, Simoné 2018). Les impacts négatifs du sur-éclairage ont progressivement émergé, notamment en raison de certaines constatations comme l'alerte donnée par les astronomes dès les années 1970 sur l'augmentation des sources lumineuses et leurs effets sur la visibilité de plus en plus réduite du ciel étoilé, ou encore le développement récent de nouvelles technologies d'éclairage (les LEDs par exemple), à questionner compte tenu de leur impact sur la santé humaine (Auricoste, Landel, Simoné 2018).

1.2 Pollution lumineuse ou nuisances lumineuses ?

L'expression « pollution lumineuse » n'est apparue que récemment dans la littérature. La pollution lumineuse se définit par « la lumière artificielle qui altère les cycles de la lumière naturelle (journalier et saisonnier) et modifie la composante nocturne de l'environnement » (Longcore, Rich 2004). Selon ces auteurs, le terme de « pollution lumineuse » s'applique à la lumière artificielle qui dénature l'alternance du jour et de la nuit. D'un point de vue plus technique, la pollution lumineuse peut être définie comme étant « le rayonnement lumineux infrarouge, ultraviolet et visible émis à l'extérieur et vers l'extérieur, et qui par sa direction, intensité ou qualité, peut avoir un effet nuisible ou incommodant sur l'homme, le paysage et les écosystèmes » (Kobler, 2002). Le terme « pollution » est plus souvent associé à des agents destructeurs chimiques dans la conscience citoyenne, et suggère par ailleurs la

dégradation d'un milieu naturel (Auricoste, Landel, Simoné 2018). Un débat s'installe alors entre « pollution » et « nuisance » de la lumière se référant davantage à une « gêne » pour la santé, le bien-être ou l'environnement. La nuisance lumineuse serait donc rapportée au fait que la lumière n'affecte pas l'environnement tandis que la pollution lumineuse entraînerait des dommages sur les écosystèmes. Par exemple, le terme « nuisance » pourrait s'appliquer aux astronomes qui ne perçoivent plus les étoiles à cause d'halos lumineux, les considérant ainsi comme une « gêne » car ils n'altèrent pas physiquement les astres. Au contraire, le terme « pollution » s'applique parfaitement à l'altération de l'environnement nocturne et aux bouleversements écosystémiques qui en résultent.

2 Effets négatifs de la pollution lumineuse sur la biodiversité

2.1 Espèces impactées et effets provoqués

2.1.1 Altération de la biodiversité nocturne par la lumière artificielle

Cette partie met en exergue les impacts provoqués par la lumière artificielle sur les différents groupes biologiques.

Selon Holker et al. (2010), 28% des vertébrés et 64% des invertébrés sont tout ou en partie nocturnes (Hölker et al. 2010). Sachant que 90% des espèces fauniques sur Terre sont des invertébrés, cela amène à constater que la plupart des animaux sont partiellement ou totalement nocturnes (Sordello 2017a). A titre d'exemple, il existe 4500 espèces de papillons nocturnes contre 250 diurnes. Ces espèces à activité nocturne complète ou partielle se retrouvent dans la quasi-totalité des groupes biologiques : papillons de nuit, chiroptères, grillons, araignées, vers luisants, amphibiens, reptiles, poissons, rongeurs, herbivores, carnivores... (« NUITFRANCE - Plateforme de connaissances sur la nuit, la biodiversité nocturne et la pollution lumineuse en France », 2017).

Ce trait « nocturne » est plus ou moins marqué chez ces espèces. En effet, il peut être partiel car l'essentiel des activités s'effectuent au crépuscule ou à l'aube par exemple. Par ailleurs, les avantages qu'offrent la nuit comme la fraîcheur et l'humidité sont plus prononcés qu'en journée. Le caractère nocturne peut même varier au cours du cycle de vie d'un individu comme chez les juvéniles lucifuges, les adultes diurnes, ou les âgés crépusculaires pour la Truite (*Salmo trutta*) par exemple. On peut encore mentionner certains cervidés comme le cerf élaphe qui profite de la nuit pour se nourrir dans les milieux ouverts alors que le jour, ils seront davantage présents en forêt. De même, d'autres espèces effectuent des activités ponctuelles la nuit, comme les oiseaux migrateurs qui réalisent leur migration essentiellement lorsqu'il fait nuit (« NUITFRANCE - Plateforme de connaissances sur la nuit, la biodiversité nocturne et la pollution lumineuse en France », 2017).

Deux grands comportements de mobilité contradictoires des espèces fauniques sont structurés par la lumière : l'attraction et la répulsion. Dès lors, on peut respectivement parler de phototaxie positive et de phototaxie négative. Que ce soit l'une ou l'autre, la force d'attraction ou de répulsion peut être variable. En effet, l'effet attractif de la lumière peut être très prononcé chez certains insectes comme les papillons de nuit, et plus spécifiquement chez les mâles, tandis qu'il sera moins fort pour d'autres espèces. Par ailleurs, l'attraction par la lumière peut entraîner des effets de désorientation, de collisions, et ce, même pour des intensités de lumière très faibles. La phototaxie positive a donc un effet plus ou moins direct sur la démographie d'une espèce puisqu'elle peut être apparentée à un piège écologique (attirant certaines espèces et les « condamnant » la mort). De la même façon, l'effet répulsif peut être faible chez les espèces luminotolérantes (certaines chauves-souris) et, a

contrario, avoir un véritable effet de barrière infranchissable pour d'autres (Sordello 2017a), créant à la fois un recul de l'habitat, et une dégradation spatiale et temporelle.

2.1.2 Spécificité des impacts des longueurs d'ondes par groupe biologique

D'après un récent rapport (Verny, Busson 2017), sachant que la lumière artificielle a été mise en place pour répondre aux besoins humains sans prendre en compte l'impact potentiel sur les autres organismes vivants, il apparaît donc inadapté de se baser sur la vision humaine pour comprendre les effets écologiques de l'éclairage artificiel. En effet, chaque espèce dispose d'un système visuel qui lui est propre, en fonction du type et du nombre de photorécepteurs, de la configuration des organes de vision, etc. qui ont été conditionnés par l'évolution.

Bien que le sujet soit encore « embryonnaire », de nombreuses études ont permis de faire une synthèse des connaissances. Musters et al (2009) ont réalisé une synthèse bibliographique qui apparaît aujourd'hui comme étant la plus rigoureuse et la plus aboutie sur le sujet. Plus particulièrement, l'exploitation de cette synthèse par Sordello permet de mettre en exergue ce qu'il faut retenir du travail effectué par Musters et al (2009) (Sordello 2017b). Dans ce rapport, l'auteur présente des tableaux récapitulant les différents phénomènes/mécanismes/cibles impacté(e)s par groupe biologique et par plage de longueur d'onde. Ce regroupement a permis de sortir des résultats disponibles pour 10 groupes biologiques : plantes, insectes, crustacés, arachnides, poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères hors chauve-souris et chauves-souris. Pour ce qui est des différents phénomènes/mécanismes/cibles impacté(e)s, les auteurs ont retenu huit catégories : la croissance, la régulation hormonale, le phototactisme, l'orientation, l'activité, l'horloge circadienne, l'horloge circannuelle, les rapports proies-prédateurs.

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

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

Légende :			
1 type d'impact		2 types d'impacts	3 types d'impacts
			4 types d'impacts

Figure 1: Tableau de synthèse extrait de la synthèse bibliographique de Sordello (Sordello 2017b)

L'étude a permis de constater dans un premier temps que toutes les plages de longueurs d'onde pouvaient provoquer des impacts sur la faune et/ou la flore. Plus précisément, il a été montré que le bleu, puis le rouge, ressortent comme les plages de longueurs d'onde les plus problématiques, suivies du vert. L'orange et l'infrarouge obtiennent les scores les plus bas. De façon évidente, l'étude sur laquelle s'est appuyé Sordello (Sordello 2017b) présente des limites, notamment par son ancienneté : il semblerait que la recherche de Musters (Musters, Snelder, Vos 2009a) ait eu lieu en 2005. De plus, Sordello précise que la synthèse bibliographique réalisée par Musters *et al.* est basée sur une assiette de recherche très restreinte (essentiellement des articles de Web of Science Core Collection), et qu'il conviendrait de mener une revue systématique, donc plus complète, sur le sujet des longueurs d'ondes impactantes pour la biodiversité.

2.1.3 Effet cascade : la flore aussi touchée

Depuis plusieurs décennies, les pollinisateurs sont en déclin partout dans le monde, ce qui laisse craindre une perte significative des services rendus par la pollinisation aux cultures et aux plantes en général. Les facteurs anthropiques à l'origine de ce déclin sont nombreux : modification et perte d'habitat, agriculture

intensive, espèces exotiques envahissantes, pesticides, propagation d'agents pathogènes ou encore changement climatique. A cela s'ajoute l'augmentation de la part de lumière artificielle la nuit au niveau mondial. Il a été montré que l'éclairage artificiel affectait directement les plantes, mais peu d'études ont été consacrées aux effets indirects induits par des organismes en interaction (Macgregor et al. 2019a). Une étude récente (Knop et al. 2017) a montré que la lumière artificielle perturbe les réseaux de pollinisation nocturne et qu'elle a des conséquences négatives sur le succès reproducteur des plantes.

En effet, l'observation de plantes pollinisatrices illuminées artificiellement la nuit a révélé qu'il y avait une diminution de 62% des visites de pollinisateurs nocturnes (papillons de nuit, coléoptères) et une réduction de 13% de production de fruits (malgré la visite des insectes pollinisateurs diurnes) par rapport aux zones sombres.

Les chercheurs ont par ailleurs démontré l'effet cascade de la pollution lumineuse (Figure 4), car cette perturbation va au-delà de la reproduction des plantes : elle se propage aux pollinisateurs diurnes. Il a été montré qu'en raison de l'absence des pollinisateurs nocturnes, il y avait une baisse des ressources alimentaires disponibles pour les pollinisateurs diurnes. Etant donné que les pollinisateurs nocturnes et diurnes agissent comme des groupes fonctionnels complémentaires et sont liés par des interactions indirectes médiées par les plantes, l'éclairage nocturne a le potentiel d'aggraver le déclin des pollinisateurs diurnes avec en plus des effets négatifs sur la pollinisation des plantes. Cette raréfaction de ces insectes pollinisateurs (surtout en milieu rural) pourrait avoir de lourds impacts sur tous les écosystèmes.

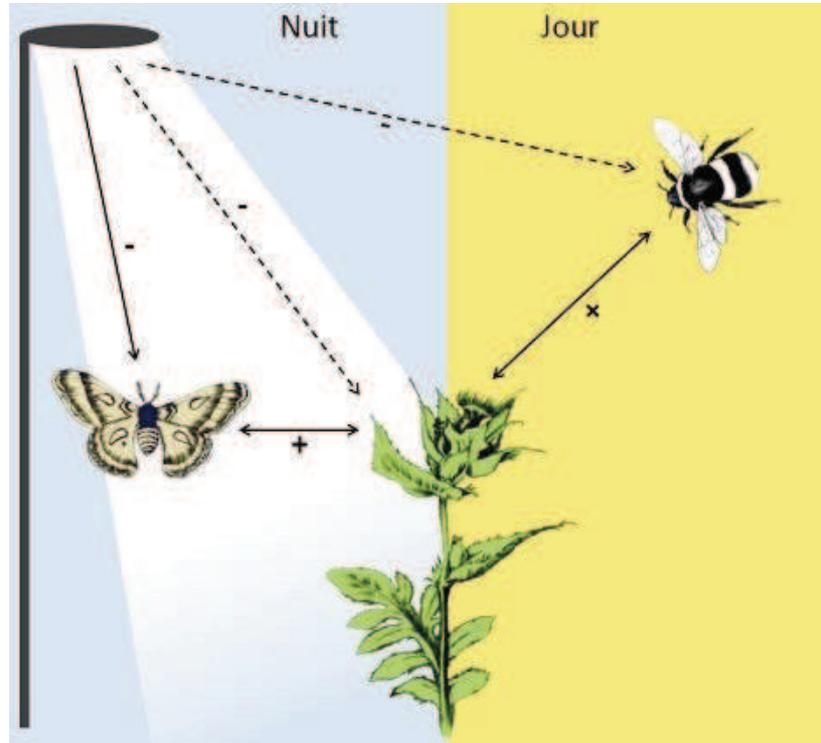


Figure 2: Schéma illustrant les effets en cascade de la lumière artificielle nocturne sur les communautés des plantes et pollinisateurs (source : Eva Knop). Les flèches pleines indiquent des effets directs, les flèches pointillées les effets indirects. Le signe se réfère à la nature attendue de l'effet direct ou indirect. L'effet négatif direct de la pollution lumineuse sur les communautés de pollinisateurs nocturnes, se transmet aux plantes en

diminuant leur succès de reproduction, ce qui se répercute sur les pollinisateurs diurnes en diminuant la quantité de ressources alimentaire à leur disposition.

Plus précisément, (Macgregor et al. 2019b) soulignent que de nombreux systèmes d'éclairage public énergivores sont remplacés par des éclairages novateurs et économes en énergie, aux conséquences écologiques inconnues. Dans leur expérience, ils démontrent que le type de lampe, les caractéristiques du luminaire et la distance à la lumière ont tous des effets importants sur la qualité de la pollinisation. Leur partie discussion s'ouvre sur la possibilité de nouvelles technologies d'éclairage visant à atténuer les effets de la lumière artificielle la nuit sur les écosystèmes.

2.2 Espèces impactées dans la région Hauts-de-France

Tel que nous l'avons vu ci-dessus de très nombreux groupes animal et végétal sont impactés par la pollution lumineuse. L'objectif pour la présente étude n'est pas de détailler toutes les espèces nocturnes impactées par la pollution lumineuse mais de focaliser sur les groupes pour lesquels il est assez simple de recueillir des données et pour lesquels l'impact négatif de la lumière artificielle est clairement avéré. Nous avons retenu ici les groupes des chiroptères et des oiseaux.

2.2.1 Chiroptères

2.2.1.1 Des habitats divers et variés

A chaque période de l'année sont associés des besoins spécifiques en termes de gîtes et d'habitats de chasse, variant en fonction des espèces. Autant d'habitats qui peuvent subir les perturbations d'un éclairage artificiel. Globalement, les chauves-souris nécessitent :

- Un milieu aux conditions climatiques stables en hiver ;
- Un gîte d'été adapté à la mise bas et à l'élevage des jeunes ;
- Des terrains de chasse en dehors des périodes d'hibernation ;
- Des sites intermédiaires au printemps et à l'automne où ont lieu des échanges entre individus et entre sexes ;
- Des axes de transit (corridors de déplacement) entre les différents habitats et gîtes.

Les chauves-souris européennes colonisent tous types de milieux, qu'ils soient artificiels ou naturels, tant qu'elles y trouvent un abri et de la nourriture. La plupart des espèces effectuent des trajets relativement courts entre les gîtes d'hiver et d'été, tandis que d'autres réalisent une véritable migration pouvant aller jusqu'à 1000 km parcourus pour la Pipistrelle de Nathusius (Arthur, Lemaire 2015).

Ainsi, selon les espèces, la période de l'année et l'activité (reproduction, recherche de nourriture, etc.), les individus peuvent fréquenter des types d'habitat variés allant des zones humides, milieux forestiers, zones agricoles, zones urbanisées (incluant tous les types de bâtiments, les sites souterrains) aux prairies.

2.2.1.2 Un groupe biologique menacé

Les pressions que les espèces de chiroptères subissent sont très diverses mais sont surtout liées aux activités humaines. Malgré de nombreuses lois et conventions de protection (internationales, européennes, nationales) en vigueur dès les années 1970, il semblerait que les effectifs actuels de chauves-souris soient nettement inférieurs à ceux des années 1950 bien que les études sur ce groupe étaient rares à cette époque (*Plan National d'Actions 2016-2025. Chiroptères. 2017*).

Les menaces qui pèsent sur les chiroptères sont :

- La modification et la dégradation des milieux naturels (zones humides, arbres d'alignement ou isolés, haies, nuisances lumineuses) ;
- La disparition ou la modification des gîtes (fermeture des cavités souterraines, rénovation de bâtiments, abattage d'arbres creux) ;
- La destruction directe ou perturbation des trajets de vol (infrastructures de transport, barotraumatismes infligés par les éoliennes) ;
- La contamination chimique (insecticides, antiparasitaires, traitement des charpentes) ;
- Les épizooties (risque de maladie accru suite aux pressions anthropiques).

2.2.1.3 Sensibilité à la lumière

Les chiroptères sont l'un des groupes les plus suivis en matière d'incidence de la pollution lumineuse. En effet, l'éclairage public a une forte influence sur l'activité, la répartition, la dynamique des différentes espèces de chiroptères et sur l'interaction entre celles-ci (Vernet 2014). Ces différences s'expliquent notamment par le fait que des chauves-souris évitent les zones éclairées car elles deviendraient plus vulnérables face aux prédateurs bénéficiant d'une meilleure visibilité, ou à l'inverse par le fait que certaines espèces seront attirées par la lumière puisque les insectes (ressource alimentaire) se concentrent autour des sources lumineuses.

2.2.1.3.1 Impacts de la lumière artificielle variables selon les espèces

De façon générale, les chauves-souris sont particulièrement affectées par la lumière artificielle la nuit, et ce, même si la luminance¹ est faible. Certaines espèces adaptent leur activité en réponse au cycle lunaire. Celle-ci est surtout prononcée chez les espèces qui se nourrissent à proximité de plans d'eau et des canopées, ou vivant dans des zones tropicales. Il a été montré que la lumière des lampadaires placés à proximité d'un gîte était susceptible d'altérer le rythme biologique des espèces et de retarder la sortie des individus (CEREMA 2016). A titre d'exemple, le rythme circadien du Molosse commun (*Molossus molossus*) est perturbé à une très faible luminosité (10-5 lx²), alors que celle des éclairages de rue s'élève en général à 5 lx.

Plus précisément, de nombreuses observations et études ont montré qu'en activité de chasse, les espèces dites « glaneuses » (espèces à vol lent et papillonnant) telles que murins (*Myotis sp.*) et rhinolophes (*Rhinolophus sp.*) évitent la lumière alors que les espèces de « haut vol » (espèces à vol rapide et direct) comme les pipistrelles (*Pipistrellus sp.*), sérotines (*Eptesicus sp.*) et noctules (*Nyctalus sp.*) étaient moins sensibles à la lumière artificielle (Vernet 2014). Dès lors, la lumière peut créer une compétition pour l'espace et pour l'accessibilité à la nourriture et plus largement, il pourrait y avoir un risque d'homogénéisation des communautés et une perte des fonctionnalités des écosystèmes (Hölker et al. 2010).

Une étude a montré que les déplacements journaliers du Petit Rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*) et des murins (*Myotis sp.*) étaient nettement réduits en présence d'éclairage à lampe à sodium haute pression ou LED (Stone 2011). Une intensité lumineuse de 3,7 lux suffit à gêner ces espèces (Jones, Morton 1992). Le Grand Rhinolophe n'est jamais présent en zone éclairée (Stone, Jones, Harris 2012).

Toutefois, une étude réalisée dans l'aire métropolitaine de Berlin (Voigt et al. 2019) a montré que pour la Noctule commune (*Nyctalus noctula*), la lumière était systématiquement évitée lorsque l'espèce effectuait des déplacements. En situation de recherche de nourriture, l'espèce a tendance à éviter aussi la lumière sauf à proximité de milieux aquatiques, en situation éloignée des routes, ou là où le taux de recouvrement de la végétation est d'environ 80 %. Cela s'expliquerait par la forte proportion d'insectes attirés par la lumière dans ces situations. Les noctules communes évitent la proximité des routes et des rails, probablement en raison du nombre d'insectes plus limité mais peut être également en raison de la perturbation de leur système d'écholocation dans ces situations. Cette étude souligne l'importance de créer des trames noires pour les déplacements de cette espèce, même si elle est habituellement réputée pour être luminotolérante (Voigt et al. 2019).

Enfin pour le Murin des marais (*Myotis dasycneme*), qui est présent uniquement en France en Hauts-de-France, une seule publication révèle sa sensibilité à la lumière (Kuijper et al. 2008). Cette étude montre qu'en présence d'une lumière artificielle, il n'y

¹ La luminance est la quantité de lumière reçue dans un angle solide donné divisée par la surface éclairante. Cette notion qui s'exprime en cd/m² est très utile pour caractériser l'éblouissement

² L'unité lux (lx) est définie en fonction de la vision humaine et la transposer à la faune ayant des différentes sensibilités spectrales peut être problématique... (Christian C Voigt et al. 2018)

a pas de diminution d'individus en déplacement, mais les activités de chasse diminuent de plus de la moitié, alors que la lumière attire pourtant davantage d'insectes. Les auteurs suggèrent que le Murin des marais évite la zone éclairée en raison du plus grand risque de prédation. L'éclairage artificiel a donc ici un impact négatif car il réduit la quantité de nourriture qu'un individu peut ingurgiter (Kuijper et al. 2008).

2.2.1.3.2 impacts de la lumière artificielle sur les interactions proies – prédateurs

La lumière artificielle engendre une perturbation des cycles proies/prédateurs où certaines espèces de chiroptères, tolérantes à la lumière, profiteront de la concentration des insectes autour de la lumière au détriment des espèces lucifuges. Le développement des éclairages publics se révèle être une vraie menace à ce niveau pour certaines espèces de chiroptères, notamment celles se nourrissant de lépidoptères nocturnes, car ces derniers voient une perturbation de leur cycle de reproduction (*Zone de développement économique d'Aoste. Dossier de demande de dérogation CNPN - Faune. Chapitre 4.6 Présentation et état de conservation des espèces protégées impactées par le projet.* 2013).

A titre d'exemple, cette perturbation pourrait être décisive pour les juvéniles de Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) car leur survie dépend de la richesse en insectes dans un rayon de 1km de leur gîte de parturition (*Zone de développement économique d'Aoste. Dossier de demande de dérogation CNPN - Faune. Chapitre 4.6 Présentation et état de conservation des espèces protégées impactées par le projet.* 2013).

Il a également été observé que les arthropodes fouisseurs dont les carabidés, dont se nourrit par exemple le Grand Murin (*Myotis myotis*), sont attirés par la lumière, rendant cette ressource alimentaire moins disponible pour les espèces lucifuges comme cette espèce (Davies, Bennie, Gaston 2012).

2.2.1.3.3 Lumière artificielle et longueurs d'ondes

D'après l'étude réalisée par Sordello (Sordello 2017b), la lumière artificielle présentant des spectres de lumière allant du violet, bleu, vert, jaune, orange au rouge peut avoir des impacts sur les chauves-souris (sur l'horloge circadienne notamment, mais aussi sur leur activité en réponse à la lumière émettant dans l'orange). Seuls l'infrarouge et l'ultraviolet ne semblent pas avoir d'impact sur ce groupe biologique. Cependant, il apparaît que les longueurs d'onde les moins perturbantes pour les chauves-souris seraient situées autour de 590nm, ce qui correspond à une couleur orangée (Métropole Nice Côte d'Azur 2016).

Toute lumière émettant dans le bleu serait quoi qu'il en soit à éviter pour toutes les espèces de chauves-souris (Falchi et al. 2011). Toutefois la littérature montre que des recherches sont encore nécessaires pour mesurer l'incidence des longueurs d'onde.

Il semble que chaque espèce puisse réagir différemment aux longueurs d'ondes émises. Par exemple, une récente étude a montré que l'activité de la Noctule commune ne changeait pas en fonction de la longueur d'onde émise par l'éclairage (Spoelstra et al. 2017).

2.2.1.3.4 Impacts de la lumière artificielle sur les gîtes de reproduction et d'hibernation

Il a également été montré des incidences négatives de l'éclairage artificiel pour les sorties de gîtes des chauves-souris :

- Une diminution du nombre d'individus de Pipistrelles pygmées (*Pipistrellus pygmaeus*) (Downs et al. 2003) ;
- Un retard de l'heure de sortie de gîte chez le Grand Rhinolophe et Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*) (Boldogh, Dobrosi, Samu 2007) et chez le Murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*) (Shirley et al. 2001).

Ces observations montrent que les effets négatifs de la lumière artificielle peuvent avoir une conséquence sur la survie des individus car il n'y a plus concordance entre la sortie de gîte et le pic de ressource de nourriture à la tombée de la nuit. Cela oblige les chauves-souris à se nourrir sur une période plus restreinte (Rydell, Entwistle, Racey 1996).

Trop d'éclairage à l'entrée du gîte peut même conduire à abandonner le gîte, comme cela a été observé pour une maternité de 1200 femelles de Murin à oreilles échancrées abandonnées après une mise en lumière de l'entrée (Boldogh, Dobrosi, Samu 2007). Une mise en lumière de l'entrée de gîte a entraîné également une diminution du taux de natalité chez deux espèces de chauves-souris américaines (Laidlaw, Fenton 1971).

Pour ce qui est de la mise en lumière de gîtes d'hibernation, il n'existe pas à notre connaissance d'études spécifiques mais on peut penser que l'incidence est proche de celle des gîtes de reproduction (Stone, Harris, Jones 2015).

2.2.1.3.5 Impacts de la lumière artificielle sur les migrations des chauves-souris

Concernant l'impact sur les migrations des chauves-souris, il a par exemple été montré pour la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) et pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*) que la lumière verte les attirait à une distance bien supérieure de la portée de leur système d'écholocation, ce qui montre que l'attraction par la lumière n'est pas liée à une recherche d'insectes (Voigt et al. 2017). Une autre étude réalisée sur ces mêmes espèces a montré qu'elles étaient attirées, en situation de migration, par la longueur d'onde correspondant au rouge mais pas pour des lumières LED blanc chaud. Pourtant en situation de chasse, elles sont bien attirées par ces LED blanc chaud mais en raison de la présence d'insectes attirés eux même par ce type de lumière (Christian Voigt et al. 2018). Cela montre un phototactisme a minima pour le vert et le rouge indépendamment de la présence d'insectes.

2.2.1.4 Synthèse de la sensibilité à la lumière de certaines espèces de chauves-souris en Hauts-de-France

Les critères ci-dessus (sensibilité à la lumière, habitats, et menace) ont permis de dresser une liste d'espèces cibles de chiroptères risquant d'être impactées par la lumière en Hauts-de-France. On classe parmi les espèces « sensibles à la lumière » les espèces connotées comme peu à très lucifuges.

Habitat : ont été retenues les espèces « non-forestières », à tolérance anthropique (donc potentiellement à proximité d'éclairage artificiel). Les types d'habitats par espèce listés dans le Tableau 1 représentent ceux susceptibles d'être en contact avec de la lumière artificielle. ;

Menace : les espèces menacées selon les critères UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) (vulnérables, en danger et en danger critique) et répondant aux critères de sélection ci-dessus ont mérité une attention particulière.

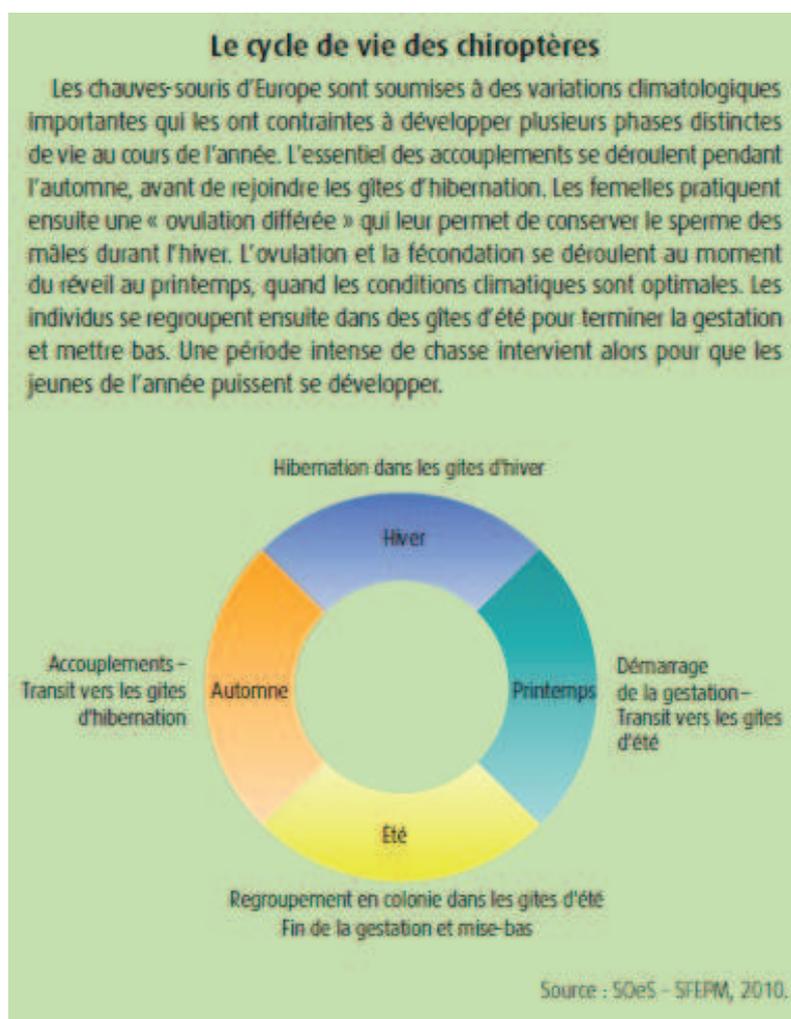


Figure 3: Cycle de vie des chiroptères (source : (TREGOUET 2011))

Concernant le statut de menace, il n'a pas été possible de trouver des données compilant les régions Picardie et Nord-Pas-De-Calais. Par conséquent, les informations retranscrites dans cette colonne se réfèrent aux données existantes pour chaque région. Pour la Picardie, le statut de menace se base sur la codification la plus récente, à savoir selon le classement établi par l'Union International pour la Conservation de la Nature (UICN) (Figure 7).

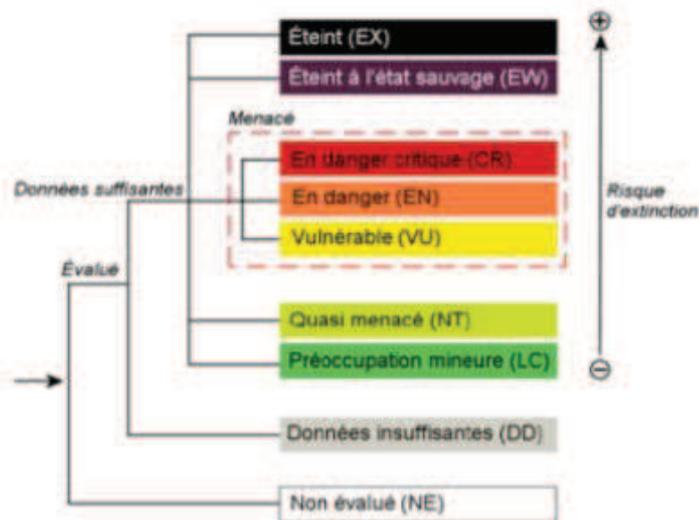


Figure 4: Evaluation du risque d'extinction des espèces selon l'UICN (source : (Listes de menace et de rareté de la faune en Picardie : actualisation 2016 2017))

Pour la région Nord-Pas-De-Calais, le statut de menace a été réalisé à partir d'un « dire d'expert », c'est-à-dire que la liste rouge régionale (Figure 9) n'a pas fait l'objet d'une évaluation approfondie comparé à la Picardie.

Espèce	Commentaires	Habitat ³	Heure d'impact potentiel (activité de l'espèce) ⁴	Statut de menace Picardie ⁵ - Nord-Pas-De-Calais ⁶
Murin à oreilles échanquées <i>Myotis emarginatus</i>	Les murins sont globalement cités dans les études comme réfractaires à la lumière ⁷ . Pourtant le Murin à oreilles échanquées pourrait présenter une certaine tolérance à la lumière car on rencontre plusieurs gîte d'hibernation en zone urbaine en Hauts-de-France (Citadelle d'Amiens par exemple)	Parcs et jardins	Mai-octobre. Actif 50min après le coucher du soleil. Retour au gîte 30 à 60min avant lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : V Picardie : LC
Murin de Bechstein <i>Myotis bechsteinii</i>	Les murins sont globalement cités dans les études comme réfractaires à la lumière ⁸	Milieux forestiers, présence en ville si grands et vieux arbres Légère tendance à coloniser de plus en plus les bâtiments	Avril-octobre. Actif surtout 30min avant le lever du soleil (annonce souvent un changement de résidence pour le lendemain)	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : VU
Murin de Brandt <i>Myotis brandtii</i>	<i>Idem</i>	Présence possible dans les églises, maisons particulières.	Actif toute la nuit. Retour au gîte juste avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : DD
Murin de Daubenton <i>Myotis daubentonii</i>	<i>Idem</i>	Espèce essentiellement arboricole avec point d'eau.	Mars-novembre. Actif 30 à 45min après coucher du soleil puis quasiment toute la nuit. Retour au gîte quand le soleil se lève.	Nord-Pas-de-Calais : V Picardie : LC
Murin à moustaches <i>Myotis mystacinus</i>	<i>Idem</i>	Parcs et jardins, granges, hangars. Espèce occasionnellement anthropophile (gîtes estivaux), sinon gîtes hivernaux souterrains, chasse en boisement	Mai-novembre. Actif 15min après le coucher du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : V Picardie : LC
Murin des marais <i>Myotis dasycneme</i>	Impact négatif sur l'activité de nourrissage en particulier	<i>Zones humides l'été.</i> Combes des églises ou des maisons.	Avril-octobre. Actif 40 à 45min après le coucher du soleil. Retour au gîte 45 à 60min avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : D Picardie : CR ⁹
Murin de Natterer <i>Myotis nattereri</i>	<i>Idem que les autres murins</i>		Actif 30 à 60min après le coucher du soleil. Retour au gîte 80min avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : V Picardie : LC

³ Susceptibles d'être à proximité d'une source lumineuse

⁴ (ARTHUR, LEMAIRE 2015)

⁵ Picardie Nature (Coord.), 2016. *Listes rouges régionales de la faune menacée de Picardie*. Les Chiroptères, les Mammifères terrestres, les Mammifères marins, les Amphibiens/Reptiles, les Araignées "orbitèles", les Coccinelles, les Orthoptères, les Odonates, les Rhopalocères et Zygènes.

⁶ (Observatoire de la Biodiversité des Hauts-De-France 2010)

⁷ (Azam et al. 2018)

⁸ (Azam et al. 2018)

⁹ Peut-être disparue ? (D'après listes rouges régionales de la faune menacée en Picardie 2016 Chiroptères)

Espèce	Commentaires	Habitat ¹⁰	Heure d'impact potentiel (activité de l'espèce) ¹¹	Statut de menace Picardie ¹² - Nord-Pas-De-Calais ¹³
Grand Murin <i>Myotis myotis</i>	<i>Idem</i>		Espèce tardive. Actif 30 à plus de 60min après le coucher du soleil, toute la nuit.	Nord-Pas-de-Calais : D Picardie : EN
Noctule commune <i>Nyctalus noctula</i>	Tel que vu ci-dessus, l'espèce peut être attirée par la lumière si cette dernière attire un grand nombre d'insectes mais sera lucifuge lorsqu'elle se déplace		Avril-octobre. Active 5 à 20min après le coucher du soleil, voire un peu avant.	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : VU
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	Comportement mixte ¹⁴		Avril-Novembre. Active dès le coucher du soleil. Retour au gîte 50min avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : NT
Oreillard gris <i>Plecotus austriacus</i>	Chasse principalement en zone obscure ¹⁵		Actif quand la nuit est presque noire. Retour au gîte environ 15min avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : V Picardie : DD
Oreillard roux <i>Plecotus auritus</i>	?	En été, peut être présent entre les bâtiments, dans les cavités arboricoles et sous les charpentes.	Avril-octobre. Actif entre 15 et 45 min après le coucher du soleil selon la région.	Nord-Pas-de-Calais : V Picardie : NT
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Espèce tolérante à la lumière. Apprécie les réverbères pour chasser les insectes désorientés par la lumière.		Active 15min après le coucher du soleil. Rentre au gîte juste avant l'aube.	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : LC
Pipistrelle de Nathusius <i>Pipistrellus nathusii</i>	L'intensité lumineuse a un effet significatif sur sa probabilité de présence. ¹⁶		Active 50min après le coucher du soleil. Activité bimodale séparée par une longue phase de repos.	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : NT
Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhlii</i>	Chasse principalement en zone obscure (comme l'Oreillard gris)		Active les 30 premières minutes suivant le coucher du soleil. Environ 3 à 5h de vol en plus de pauses.	Nord-Pas-de-Calais : ? Picardie : DD
Pipistrelle pygmée <i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Espèce peu lucifuge ¹⁷		Rythme d'activité semblable à la Pipistrelle commune.	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : DD

¹⁰ Susceptibles d'être à proximité d'une source lumineuse

¹¹ (ARTHUR, LEMAIRE 2015)

¹² Picardie Nature (Coord.), 2016. *Listes rouges régionales de la faune menacée de Picardie*. Les Chiroptères, les Mammifères terrestres, les Mammifères marins, les Amphibiens/Reptiles, les Araignées "orbitèles", les Coccinelles, les Orthoptères, les Odonates, les Rhopalocères et Zygènes.

¹³ (Observatoire de la Biodiversité des Hauts-De-France 2010)

¹⁴ (Port-Cros Parc National, Conservatoire Botanique National Méditerranéen 2017)

¹⁵ (Port-Cros Parc National, Conservatoire Botanique National Méditerranéen 2017)

¹⁶ (Laforge, Fonderflick, Besnard 2018)

¹⁷ (Port-Cros Parc National, Conservatoire Botanique National Méditerranéen 2017)

Espèce	Commentaires	Habitat ¹⁸	Heure d'impact potentiel (activité de l'espèce) ¹⁹	Statut de menace Picardie ²⁰ - Nord-Pas-De-Calais ²¹
Grand Rhinolophe <i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Espèce lucifuge : habitat caractérisé par une absence de lumière artificielle. Lumière artificielle nocturne responsable d'une forme de fragmentation pour cette espèce ²² .		Actif 10min après le coucher du soleil (proies abondantes), voire avant selon certaines conditions (mauvais temps, faim). Actif surtout les 2 premières heures de la nuit et juste avant le retour au gîte, 30 min avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : D Picardie : VU
Petit Rhinolophe <i>Rhinolophus hipposideros</i>	Espèce lucifuge.		Actif entre 15 et 30min après le coucher du soleil, voire plus tôt si ciel couvert. Retour au gîte 30min avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : D Picardie : NT ²³
Sérotine bicolore / Vespertilion bicolore <i>Vespertilio murinus</i> Linnaeus	Pas d'informations		Active 30 à 60min après le coucher du soleil. Retour au gîte juste avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : <i>aucun statut</i>
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	Espèce lucifuge : peut quitter son gîte si présence d'éclairage à proximité. Chasse principalement dans les zones obscures.		Avril-octobre. Active 15min après le coucher du soleil (variable en fonction des colonies).	Nord-Pas-de-Calais : I Picardie : NT

Tableau 1 : espèces de chiroptères présentes dans les Hauts-de-France, retenues selon les critères d'habitats, de sensibilité à la lumière pertinents pour l'étude

¹⁸ Susceptibles d'être à proximité d'une source lumineuse

¹⁹ (ARTHUR, LEMAIRE 2015)

²⁰ Picardie Nature (Coord.), 2016. *Listes rouges régionales de la faune menacée de Picardie*. Les Chiroptères, les Mammifères terrestres, les Mammifères marins, les Amphibiens/Reptiles, les Araignées "orbitèles", les Coccinelles, les Orthoptères, les Odonates, les Rhopalocères et Zygènes.

²¹ (Observatoire de la Biodiversité des Hauts-De-France 2010)

²² (Sordello, 2013)

²³ Sous-populations ayant fait l'objet d'une évaluation particulière : Vallée d'Authie (CR) – Vexin (EN)

Liste des espèces de Chauves-souris présentes dans le Nord - Pas-de-Calais et leur statut de menace¹

(Source : ORB NPdC d'après CMNF).

Famille	Nom français (Nom latin)	Liste rouge régionale 2000	Liste rouge régionale 2010
Rhinolophidés	Grand rhinolophe (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>)	D	D
	Petit rhinolophe (<i>Rhinolophus hipposideros</i>)	D	D
Vespertilionidés	Barbastelle d'Europe (<i>Barbastella barbastellus</i>)	D	D
	Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>)	I	I
	Murin d'Alcathoé (<i>Myotis alcathoe</i>)	ND*	I
	Murin de Bechstein (<i>Myotis bechsteinii</i>)	I	I
	Murin de Brandt (<i>Myotis brandtii</i>)	I	I
	Murin des marais (<i>Myotis dasycneme</i>)	D	D
	Murin de Daubenton (<i>Myotis daubentonii</i>)	V	V
	Murin à oreilles échancrées (<i>Myotis emarginatus</i>)	V	V
	Grand murin (<i>Myotis myotis</i>)	V	D
	Murin à moustaches (<i>Myotis mystacinus</i>)	V	V
	Murin de Natterer (<i>Myotis nattereri</i>)	V	V
	Noctule de Leisler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	I	I
	Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>)	I	I
	Pipistrelle de Kuhl (<i>Pipistrellus kuhlii</i>)	ND*	?
	Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	V	I
	Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	I	I
	Pipistrelle pygmée (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	ND*	I
	Oreillard roux (<i>Plecotus auritus</i>)	V	V
Oreillard gris (<i>Plecotus austriacus</i>)	V	V	
Sérotine bicoloré (<i>Vespertilio murinus</i>)	ND*	I	

* ND : les espèces n'étaient pas connues en région

Figure 5: Statut de menace des espèces de Chiroptères du Nord-Pas-De-Calais (source : (Observatoire de la Biodiversité des Hauts-De-France 2010))

2.2.2 Oiseaux

Les effets négatifs les plus connus des nuisances lumineuses sur les oiseaux sont surtout observés chez les oiseaux migrateurs. Ces derniers se basent généralement sur les étoiles pour s'orienter la nuit, lesquelles sont moins visibles en présence de halo lumineux, ou par la simple présence de points lumineux, immeubles éclairés y compris.

Désorientés, ces oiseaux sont attirés par les sources lumineuses de grande ampleur telles que les phares maritimes, les tours éclairées. Ce phototactisme positif se transforme en piège écologique et c'est ainsi qu'une mortalité massive d'oiseaux au pied de ce type d'infrastructure est régulièrement observée. Des études déclarent même que l'influence d'un faisceau lumineux éclairant vers le ciel peut se faire sentir jusqu'à 1km (Bruderer, Peter, Steuri 1999).

Outre la perte d'orientation, l'étude de Musters et al révèle que le groupe biologique des oiseaux est celui subissant le plus de types d'impacts :

Plage de longueur d'onde	Nombre de type d'impact	Cible des impacts
Ultraviolet (<380nm)	2	<ul style="list-style-type: none"> • Régulation hormonale • Orientation
Violet (380-450nm)	1	<ul style="list-style-type: none"> • Orientation
Bleu (450-500nm)	4	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation
Vert (500-550nm)	4	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation
Jaune (550-600nm)	1	<ul style="list-style-type: none"> • Orientation
Orange (600-650nm)	1	<ul style="list-style-type: none"> • Orientation
Rouge (650-700nm)	3	<ul style="list-style-type: none"> • Horloge circannuelle • Phototactisme • Orientation
Infrarouge (>750nm)	1	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance

Tableau 2 : Types d'impacts par plage de longueur d'onde pour les oiseaux. (source : (Musters, Snelder, Vos 2009b))

Espèce	Commentaires	Habitat	Heure d'impact potentiel (activité de l'espèce)	Statut de menace Picardie²⁴ - Nord-Pas-De-Calais²⁵
Hibou des marais <i>Asio flammeus</i>		Toundra, champs ouverts, prairies et marais, dunes, friches herbeuses	Peut chasser en plein jour	Nord-Pas-de-Calais : NA Picardie : NA
Chouette Chevêche <i>Athene noctua</i>		Bocages, vieux vergers, prairies, plaines à proximité des villages ou fermes isolées	Ne s'observe pas que la nuit et est aussi parfois active le matin ou à partir du milieu de l'après-midi	Nord-Pas-de-Calais : NT Picardie : VU
Hibou Moyen duc <i>Asio otus</i>		Plaines agricoles, alignements d'arbres en fond de vallée, bocages. Peut nicher dans des vieux bâtiments	Rapace essentiellement nocturne	Nord-Pas-de-Calais : LC Picardie : DD
Chouette effraie <i>Tyto alba</i>	Espèce inféodée aux milieux anthropiques.	Occupe les vieilles granges, maisons abandonnées, clochers d'église, greniers, etc. Mais évite les zones urbanisées		Nord-Pas-de-Calais : LC Picardie : DD
Chouette hulotte <i>Stric aluco</i>		Bois, forêts, parcs, jardins, bocages et fréquente aussi les bâtiments	Se met en chasse quelques minutes après le coucher du soleil	Nord-Pas-de-Calais : LC Picardie : LC
Grand-duc d'Europe <i>Bubo bubo</i>		Fréquente les paysages accidentés, niche dans les arbres, sur les corniches de falaises, affectionne les carrières, même en activité	Sort quand il fait encore jour et rentre avant le lever du soleil.	Nord-Pas-de-Calais : VU Picardie : NA

Rapaces nocturnes présents en Hauts-de-France sensibles à la lumière (LPO Pas-de-Calais 2018)

²⁴ (Clicnat 2018) et obs.picardie-nature.org

²⁵ (Gillebert et al. 2016)

3 Organisation de l'éclairage public en Hauts-de-France

3.1 Compétence du maire

Depuis la loi municipale du 5 avril 1884, c'est le maire qui est compétent en matière d'éclairage public au titre de son pouvoir de police générale.

L'article L 2212-2, 1^{ère} du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT) reprend cette compétence dans une rédaction identique en prévoyant que le Maire a pour mission de veiller à la **sûreté, et la commodité du passage** dans les rues, quais, places et voies publiques, ce qui comprend notamment l'éclairage.

Cette mission se rattache également à la **police de la circulation** dont l'article L 2213-1 du Code Général des Collectivités Territoriales précise les voies concernées.

Une réponse du ministère chargé de la décentralisation publiée dans le JO du Sénat du 02/05/2013 résume bien les limites de la compétence du maire en terme d'éclairage public :

Aucune disposition législative ou réglementaire n'impose aux collectivités territoriales une obligation générale et absolue d'éclairage de l'ensemble des voies de communication.

De manière générale, il appartient au maire, au titre de son pouvoir de police, de signaler les dangers, particulièrement lorsqu'ils excèdent ceux auxquels doivent normalement s'attendre les usagers et contre lesquels il leur appartient de se prémunir eux-mêmes en prenant les précautions nécessaires (CE, 14 octobre 1977, Commune de Catus, req. n°01404). L'éclairage public constitue l'un des moyens de signaler certains dangers.

Le juge administratif examine, en fonction du cas d'espèce, si l'absence ou l'insuffisance d'éclairage public est constitutive d'une carence de l'autorité de police à l'origine d'un dommage susceptible d'engager la responsabilité de la commune (CE, 26 octobre 1977, req. n°95752 ; CE, 27 septembre 1999, req. n°179808).

En vertu des dispositions précitées de l'article L. 2212-2 du CGCT, ainsi que de l'article L. 2213-1 du même code, en vertu duquel le maire exerce la police de la circulation sur l'ensemble des voies de communication à l'intérieur des agglomérations, le maire « doit veiller au bon éclairage des voies publiques situées dans l'agglomération communale, y compris de celles dont la commune n'est pas le maître d'ouvrage », et notamment sur les routes départementales (CAA Douai, 18 mai 2004, req. n°01DA00001).

Il convient cependant de préciser que le défaut ou l'insuffisance d'éclairage public est également susceptible d'engager la responsabilité de la collectivité gestionnaire de la voirie pour défaut d'entretien normal de l'ouvrage public (CE, 14 avril 1976, req. n°95043 ; CAA Lyon, 27 décembre 1991, req. n°91LY00185 ; CAA Bordeaux, 27 octobre 2009, req. n°08BX01196).

Au regard de la possibilité d'une responsabilité conjointe de l'autorité de police et du gestionnaire de voirie en cas de défaut ou d'insuffisance de l'éclairage public, il s'avère nécessaire pour le maire d'obtenir l'accord du département avant de diminuer l'éclairage des voies départementales.

3.2 Compétence du maire transférable totalement ou partiellement

La commune conserve la possibilité de transférer la compétence éclairage public à un syndicat d'énergie ou à une intercommunalité. Dans ce dernier cas, le transfert de l'éclairage public n'est pas directement lié à celui de la compétence voirie.

La loi NOTRe du 7 août 2015 prévoit le transfert optionnel de la compétence « création, aménagement et entretien de voirie » des communes aux communautés de communes et communautés d'agglomérations.

Le domaine public routier comprend les voies ouvertes à la circulation et faisant partie du domaine public et ses dépendances. Ces dépendances ou accessoires de voirie n'ont pas de définition précise. Mais selon la jurisprudence, ces éléments doivent être nécessaires ou indispensables à la circulation routière ou à la sécurité des usagers. Ainsi, les trottoirs sont inclus dans ces dépendances, ainsi que les ronds-points, les barrières de sécurité, les panneaux indicateurs et de signalisation, les ponts, tunnels, murs de soutènement, fossés bordant les routes, **l'éclairage public** présent pour la sécurité de la circulation et même le service du déneigement.

Ainsi la compétence éclairage public liée à la voirie peut être transférée à une intercommunalité (communauté de communes, communauté d'agglomération, métropole, etc.). Néanmoins, d'après nos informations, même en cas de transfert de la compétence voirie d'une commune à une intercommunalité, la commune a la possibilité de confier la compétence éclairage public à un syndicat/fédération d'énergie (cas de la FDE 80 par exemple).

Par ailleurs, en cas de transfert de la compétence éclairage public, les communes peuvent choisir « de conserver la partie de la compétence relative aux travaux de maintenance sur le réseau d'éclairage public mis à disposition et dont elles sont propriétaires » (article L. 1321-2 du CGCT).

En Hauts-de-France, certaines communes ont choisi de transférer le volet investissement de l'éclairage et/ou le volet maintenance à des syndicats/fédérations départementaux/ales d'énergie. La logique est souvent moins juridique qu'économique puisque le syndicat, devenu maître d'ouvrage, peut passer des marchés à bons de commande et bénéficier de réduction des coûts par l'augmentation des prestations à fournir.

En Hauts-de-France, il existe tous les cas de figure. Soit la commune décide de gérer intégralement l'éclairage public (cas de la ville de Lille), tant sur l'investissement

que la maintenance, soit elle peut transférer tout ou partie de ses compétences (cas majoritaire).

Toutefois, la compétence du maire, **liée à son pouvoir de police administratif général, relative notamment à la sécurité, ne peut être transférée**. En effet, l'éclairage public est un moyen d'assurer la sécurité des déplacements. Le maire reste donc compétent pour la désignation des lieux éclairés et la fixation des modalités de l'éclairage (nombre de lampadaires, horaires d'allumage).

3.3 Gestion de l'éclairage par les communes

3.3.1 Exemple de la commune de Lille

Afin de connaître la manière de gérer l'éclairage public au sein d'une commune qui a conservé toute sa compétence dans ce domaine (investissement et maintenance), nous avons rencontré, le 15 juillet 2019, M. Nicolas Delnatte, adjoint au service éclairage public de la mairie de Lille, et Yohan Tison, écologue au service des espaces verts de la ville de Lille.

Le compte rendu complet est disponible en annexe, au paragraphe 13.2.

La métropole de Lille a quelques compétences en éclairage, comme certaines voiries intercommunales.

Malheureusement, la ville de Lille déplore un manque de coordination du sujet éclairage public entre les différents acteurs de l'éclairage artificiel, que ce soit au sein même de la commune mais également au niveau de la métropole de Lille ou des communes voisines.

Quatre personnes composent le service éclairage :

- Un responsable (M. Damien Morineaux), spécialisé sur le volet énergie ;
- Un responsable du marché global et travaux neufs (M. Nicolas Delnatte) ;
- Un responsable des petits aménagements et marchés d'accompagnement avec les tiers ;
- Un technicien pour la partie réfection.

Depuis 2007, la ville de Lille s'est investie dans la résorption de la pollution lumineuse, notamment au travers des projets "Tramenoire" puis "Luciole" (<https://www.lille.fr/Votre-Mairie/Notre-action-pour/Une-ville-durable/Le-projet-Luciole>)

Les entreprises retenues dans le cadre des appels d'offre apportent une expertise et de l'innovation à l'éclairage public. Depuis 2012, c'est INEO CITEOS qui a été retenu. Il y a de nouveau une phase de consultation d'entreprise actuellement.

INEO s'est engagé sur la trame noire, notamment pour rechercher des financements : Life au début, mais cela était mal parti pour différentes raisons. Pour le moment, la dynamique mériterait d'être poursuivie et amplifiée.

La ville a installé des systèmes de détection de présence (Pont Jouhaux, citadelle...) grâce à INEO avec des systèmes innovants de plateaux LED à températures de couleurs variables (1800K, 2200K, 2700K). Des « coupe-flux » **sur mesure**, permettant d'éviter une dispersion du flux lumineux vers les cours d'eau ont également été fabriqués spécifiquement pour la ville de Lille.

Toutefois, de la recherche et innovation sont encore nécessaires car lorsque les cyclistes sont trop couverts en hiver, il n'y a pas de détection de chaleur et donc les lampadaires ne s'allument pas.

Le projet Tramenoire avant Luciole a permis de :

- Montrer les enjeux réels de la pollution lumineuse ;
- Faire une modélisation de l'utilisation du territoire par les chauves-souris ;
- Réaliser une étude sociologique sur la prise en compte de la biodiversité nocturne (petite) ;
- Utiliser des marqueurs de biodiversité tels que diversité et intensité en termes de population de chauves-souris (Murin de Daubenton, Pipistrelle de Nathusius, Sérotine commune...) avec des réponses différentes pour chaque espèce de chiroptère.

Il n'y a pour ainsi dire aucun échange avec la police municipale sur le respect des prescriptions de l'éclairage.

La ville dispose d'une base de données géoréférencée des points lumineux et de leurs photos.

La ville a réduit la puissance de 4000 points lumineux de lampes à décharge à Lille sans informer la population. Il n'y a pas eu de retour particulier. Les riverains perçoivent le changement « d'ambiance » par cette baisse d'intensité.

3.3.2 Exemple de la commune de Douai

Afin d'en savoir plus sur la prise en compte de la trame noire sur la commune de Douai, nous avons pu interroger M. Couillet, directeur de l'éclairage public de la ville de Douai, le 31 juillet 2019. Le compte rendu complet est disponible en annexe, au paragraphe 13.3.

M. Couillet est par ailleurs président de l'association française de l'éclairage (AFE) pour les Hauts-de-France – Ardennes.

La ville de Douai a mis en place une trame noire avec l'aide du bureau d'études AUDDICE. La méthodologie employée pour mettre en place la trame noire a suivi les étapes suivantes :

- Afin d'inventorier les chauves souris, des enregistreurs automatiques ont été disposés sur les sites les plus favorables du 4 au 25 juin. Les enregistrements ont été analysés avec Tadarida, le logiciel d'identification automatique du MNHN (11 espèces ont été identifiées) ;

- A partir des résultats du diagnostic, des recommandations ont été produites pour l'éclairage public :
 - Températures de couleur de 2200K (2700K en hiver) pour limiter l'impact sur les chauves-souris ;
 - « Dimming » (réduction d'intensité lumineuse avec variateur) avec coupure en cours de nuit et pleine puissance le matin ;
 - ULR²⁶ : 0% ;
 - Peu de détection de présence ;
- Détermination des points de conflits entre le milieu naturel et l'éclairage artificiel à résorber.

Actuellement, il y a une tentative d'étendre la démarche trame noire à l'agglomération mais il n'y a pas encore assez d'échanges entre la ville et l'agglomération. Il y a également un souhait d'étendre la démarche aux autres communes au-delà de l'agglomération.

Selon M. Couillet, l'arrêté du 27/12/18 est préjudiciable pour les collectivités, notamment parce qu'il existe plusieurs failles et anomalies qu'il serait trop long à détailler ici.

La ville de Douai va mettre en place des critères qui existent dans l'arrêté : notamment LEDs avec changement de température de couleur. A Douai, des lampes de 3000K sont retenues par défaut où il n'y a pas d'enjeux de trame noire identifiés.

Politiquement, le sujet est très porteur, les collectivités prennent de plus en plus en compte la biodiversité dans leurs projets, aidées en cela par la technologie.

La ville de Douai a pu obtenir des financements grâce à la réponse à un appel à projet, notamment des fonds FEDER via la Région.

La fédération départementale d'énergie du Pas de Calais (FDE 62) finance les travaux de rénovation de l'éclairage public selon certains critères.

La ville de Douai prend souvent des conseils techniques sur le volet biodiversité auprès de ses partenaires tel que Audicé (N. Vallet) et le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) (R. Sordello).

Globalement, à l'exception des sites relevant de la trame noire, la ville de Douai n'a pas l'intention de moins éclairer, mais évite de trop éclairer, surtout via des changements de températures de couleur.

Concernant le choix des LED, il faut trouver un équilibre entre les 3 enjeux de biodiversité, durée de vie des lampes, sécurité.

M. Couillet est également élu à l'AITF (Association des Ingénieurs Territoriaux de France) et souhaite mener des actions de communication en lien avec l'AFE à destination des élus des communes limitrophes et même au-delà. Selon lui, il est

²⁶ ULR (Upward Light Ratio) « représente le rapport du flux sortant des luminaires qui est émis dans l'hémisphère supérieur au flux total sortant des luminaires, lesquels étant dans leur position d'installation »

important d'associer l'AFE et AITF pour tout type d'action et projet en direction des collectivités.

M. Couillet déplore le manque de plateforme pour les retours d'expérience.

Un groupe de travail sur la biodiversité a été constitué pour étudier les impacts de la lumière sur la biodiversité dans les Hauts-De-France. En font notamment partie N. Vallet du bureau d'étude AUDDICE, et M. Couillet de l'AFE.

3.4 Gestion de l'éclairage par les gestionnaires de la voirie

Comme nous l'avons vu précédemment, les communes peuvent transférer la compétence voirie à une structure intercommunale. Le volet de l'éclairage public fait partie en principe de l'emprise de la voirie mais il n'est pas forcément transféré à la structure intercommunale.

L'éclairage public est parfois géré par le gestionnaire de l'infrastructure. C'est le cas pour les routes nationales, gérées en Hauts de France par la Direction Interdépartementale des Routes Nord (DIR Nord).

Nous avons eu un échange téléphonique le 2 septembre 2019 avec Mme Gladys Vanhemelsdaele, qui gère les autoroutes autour de Lille. Le responsable de l'éclairage de la DIR est M. Marc Rammault. Pour le district de Lille, la DIR gère l'éclairage public.

La DIR fait le choix de ne pas maintenir l'éclairage public sur les axes routiers dont elle a la gestion, essentiellement pour des raisons d'économie d'énergie. Ces extinctions font suite la plupart du temps à des pannes du réseau d'électricité. Toutefois pour des raisons de sécurité, certains axes doivent être éclairés (sur l'A16 par exemple en raison de la présence de migrants).

3.5 Autorités Organisatrices de la Distribution d'Electricité des Hauts-de-France

La compétence de l'éclairage peut être transférée aux Autorités Organisatrices de la Distribution d'Electricité (AODE). Ces AODE sont le plus souvent des syndicats intercommunaux, mais également des départements, des métropoles ou des territoires d'outremer. Propriétaires des réseaux de distribution d'électricité et de gaz, les AODE contrôlent l'exécution des missions de service public, déléguées dans la plupart des cas à Enedis et GRDF ou à des entreprises locales (régies, société d'économie mixte, SICAE (sociétés d'intérêt collectif agricole d'électricité) ...).

Elles ont des compétences multiples et notamment :

- Contrôle des distributeurs d'électricité et de gaz ;
- Maîtrise d'ouvrage de travaux sur les réseaux ;
- Actions d'optimisation en matière d'éclairage public et plus généralement de transition énergétique ;

- Groupements d'achats d'énergie ;
- Déploiement de bornes de recharge de véhicules électriques ;
- Info Espaces Energie ;
- Précarité énergétique ;
- Déploiement de la fibre optique, etc.

Le site internet dédié aux AODE est "territoire d'énergie" (www.territoire-energie.com). Le plus souvent associées en ententes régionales, les AODE « territoire d'énergie » partagent leurs expériences et mutualisent certaines de leurs missions. Ces ententes constituent un espace de dialogue privilégié pour les conseils régionaux, chefs de file de la transition énergétique. Ces valeurs et compétences sont définies dans la charte « territoire d'énergie ». Cette charte est réservée aux adhérents de la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR).

En Hauts-de-France, les adhérents à territoire d'énergie sont les suivants :

- Territoire d'énergie Flandres, constitué par le Syndicat Intercommunal d'Energie des Communes de Flandre (**SIECF**) ;
- Territoire d'énergie Aisne, constitué par l'Union des Secteurs d'Énergie du Département de l'Aisne (**USEDA**) ;
- Territoire d'énergie Oise, constitué par le syndicat d'énergie de l'Oise (**SE 60**) pour 79 % du territoire ; pour les 21 % du territoire, l'AODE est le syndicat des énergies zone Est de l'Oise (**SEZEO**) ;
- Territoire d'énergie Somme, constitué par la Fédération Départementale de l'Energie de la Somme (**FDE 80**).

Seule la Fédération départementale d'énergie du Pas-de-Calais (**FDE 62**) n'apparaît pas comme adhérente à "territoire d'énergie" sur le site internet dédié (consultation au 03/01/2020).

L'adhésion à une AODE permet effectivement aux collectivités de déléguer tout ou partie de leurs compétences en matière d'éclairage. Cette adhésion est l'occasion pour le syndicat de mutualiser ses propres compétences en faveur de la sobriété lumineuse.

Si une intercommunalité a obtenu le transfert de compétence de l'éclairage public par la commune, elle a la possibilité de transférer elle-même une partie de sa compétence à une AODE.

L'adhésion des communes à un syndicat d'énergie permet bien « d'adhérer », et donc d'établir une certaine confiance entre les deux entités. Ce partenariat permet aux collectivités d'être conseillées à la vue des enjeux actuels en matière d'éclairage et par conséquent d'adhérer quelque part aux bonnes pratiques, en respectant la législation (notamment les arrêtés ministériels relatifs aux nuisances lumineuses et prescriptions techniques). Vue sous cet angle, cette approche paraît déterminante dans l'incitation aux communes à s'orienter vers une dynamique « d'éclairer juste ».

Dans un contexte où les effets de la pollution lumineuse sont méconnus du grand public et des élus, les syndicats d'énergie sont en première ligne pour sensibiliser les communes aux impacts négatifs de l'éclairage artificiel. L'enjeu ici est

donc de construire une méthode d'approche stratégique pour sensibiliser efficacement les communes aux enjeux de pollution lumineuse.

Il n'existe pas à ce jour de fédération régionale d'énergie, néanmoins, l'ensemble des AODE des Hauts-de-France engageant des démarches pour mutualiser leurs expériences et leurs savoirs. A ce titre, les Syndicats ou Fédérations d'Énergie des départements du Nord, du Pas de Calais, de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise se sont rencontrés pour la première fois au siège de la FDE 80 près d'Amiens le 13 avril. Lors de cette rencontre étaient également présents les représentants de la Métropole Européenne de Lille (MEL), du Syndicat d'Électricité de l'Arrondissement (SEA) d'Avesnes-sur-Helpe et du Syndicat Intercommunal de l'Énergie du Cambrésis (SIDE 59).

Nous avons pris contact avec chacune des AODE départementales. Nous n'avons malheureusement pas eu de réponse de la part de la FDE 62 ni du SE 60.

Mais nous avons pu rencontrer :

- La FDE 80, le 12 septembre 2019. Nous avons été reçus par MM. Christophe Nguyen ; directeur des opérations et Florent Mortel, référent éclairage public ;
- Le SIECF, le 15 novembre 2019. Nous avons rencontré Mme Natacha Lecerf-Noël, directrice et M. Thomas Boulanger, technicien chargé de l'éclairage public ;
- l'USEDA, par téléphone, le 27 novembre 2019. Nous avons pu échanger avec M. Yves De Moliner, directeur général de l'USEDA.

3.5.1 Fédération départementale de l'éclairage de la Somme

Sont présentées ici des informations générales et une synthèse des échanges avec cette organisme en date du 12 septembre 2019 (voir compte rendu en annexe au paragraphe 13.5).

La Fédération Départementale de l'Énergie de la Somme, usuellement appelée FDE 80, est un syndicat intercommunal à la carte spécialisé sur les sujets liés à l'énergie, auquel adhèrent 762 communes.

La FDE 80 est propriétaire des réseaux électriques de distribution publique sur le territoire de ces communes. La FDE 80 exerce la compétence d'autorité organisatrice de la distribution d'électricité, ce qui comprend la gestion des contrats de concession avec Enedis et la SICAE de la Somme et du Cambrésis, ainsi que la maîtrise d'ouvrage de certains travaux (extension, renforcement, sécurisation, mise en souterrain de ces réseaux publics). Elle réalise également des travaux sur l'éclairage public ainsi que la pose d'infrastructures d'accueil de communications électroniques simultanément aux travaux sur le réseau électrique.

Pour le compte de 399 communes lui ayant confié l'entretien de leur éclairage public, la FDE 80 gère la maintenance de 45 857 points lumineux, avec l'achat de l'électricité pour cet éclairage public sur 269 de ces communes. Le SIG (Service d'Information Géographique) de la FDE 80 permet de répertorier tous ces ouvrages, avec la précision requise, et de préserver leur intégrité.

La fédération délègue aussi de son côté vers les services publics et entreprises. Pour l'exploitation et l'exécution des travaux, elle fait appel à des entreprises et prestataires.

Sur les 760 communes, il s'agit pour le syndicat de :

- 1) Recevoir la délégation des communes pour leur rendre accessible le réseau électrique ;
- 2) Intervenir en matière de maintenance, de gérer complètement le parc (pour environ 400 des 760), d'effectuer le renouvellement préventif (notamment pour les changements d'ampoules) ;
- 3) Etre **garant** du respect à l'adhésion, aux compétences déléguées par les communes.

La FDE 80 est favorable à inclure davantage de critères en faveur de la biodiversité lors de travaux de rénovation d'éclairage. Elle est notamment favorable à une intervention du Cerema sur ce sujet au cours de réunions avec les élus.

3.5.2 Syndicat d'énergie de l'Oise et Syndicat des Energies Zones Ouest de l'Oise

Sont présentées ici des informations générales recueillies sur le site internet du SE 60.

Dans l'Oise, il existe une particularité pour les 693 communes du département :

Les distributeurs :

Enedis dessert 79% du département, 3 ELD (SICAE, SER et Régie) desservent les 21% restants.

Les AODE :

Pour 79% du département, desservis par Enedis, une seule AODE, le SE60, organise et contrôle le service public pour 98% des communes du département. Jusqu'en 2013, 17 AODE géraient les 21% restants. Elles ont fusionné progressivement pour n'être plus qu'une en 2017 : Sézéo.



Figure 6 : Carte des Syndicat d'énergie de l'Oise (source se60.fr)

3.5.3 Union des Secteurs d'Énergie du Département de l'Aisne (USEDA)

Sont présentées ici des informations générales et une synthèse des échanges avec cet organisme en date du 27 novembre 2019 (voir compte rendu en annexe au paragraphe 13.7).

L'USEDA est un Syndicat Mixte Ouvert géré par un Comité Syndical qui regroupe 46 délégués. Elle est composée de 791 communes, 15 communautés de communes et du Conseil départemental, regroupant une population d'environ 539 813 habitants adhérents à l'Union des Secteurs d'Énergie du Département de l'Aisne (USEDA).

Pour l'éclairage public, certaines communes ont transféré la compétence travaux et certaines la compétence maintenance et exploitation également.

3.5.3.1 Compétence travaux

Pour les 782 communes qui adhèrent à la compétence travaux, l'USEDA intervient en tant que maître d'ouvrage et réalise les travaux suivants :

- Création d'un premier réseau d'éclairage public sur le territoire d'une commune ;
- Travaux d'extension d'éclairage public (hors effacement) ;

- Travaux d'effacement des réseaux d'éclairage public en coordination ;
- Mise en valeur par la lumière de sites et monuments ;
- Équipements spécifiques visant les économies d'énergie ;
- Travaux de remplacement par du matériel neuf ;
- Mise en conformité des ouvrages ;
- Réparation des dommages causés aux installations par des tiers (accident, vol, dégradation).

3.5.3.2 *Compétence maintenance et exploitation*

Pour les 522 communes qui adhèrent à la compétence maintenance et fonctionnement de l'éclairage public, l'USEDA assure les prestations suivantes :

- Gestion du patrimoine ;
 - Cartographie numérisée ;
 - Suivi du patrimoine ;
- Exploitation ;
 - Rapport annuel d'exploitation ;
 - Paiement des factures de consommations d'énergie ;
- Entretien ;
 - Visite préventive annuelle ;
 - Renouvellement systématique des sources ;
 - Dépannage ;
 - Mise en sécurité ;
 - Adaptation des heures de fonctionnement.

Environ 180 communes conservent la maintenance de leur éclairage public. Certaines le font en régie ou la transfèrent à des entreprises privés.

L'USEDA détermine les durées de vie des sources lumineuses en fonction des données constructeurs sur la durée de vie des lampes. Il pratique un remplacement systématique des lampes arrivées à 80 % de leur durée de vie.

Ce sont les communes qui indiquent leurs souhaits de plages d'éclairage. Globalement, un nombre important de communes (80 %) pratiquent l'extinction nocturne, ce qui consiste à couper l'éclairage public en milieu de nuit quand les besoins humains sont quasi nuls. Cela est assez culturel dans l'Aisne. L'allumage se fait environ quinze minutes après le coucher et l'extinction, quinze minutes avant le lever du soleil. Pour les communes qui éclairent toute la nuit, il y a une diminution d'intensité d'au moins 30 % avec les LEDs car les lampes sodium ne permettent pas de faire varier l'intensité.

L'USEDA a une politique forte d'économie. En 10 ans, la consommation énergétique a baissé de 25 %. Il y a également un objectif d'éradiquer tous les luminaires boules fluorescents. Il en reste environ 1850 à ce jour.

Au total, 62 000 points lumineux sont gérés par l'USEDA sur le territoire de l'Aisne. Une campagne a été lancée pour promouvoir au maximum les LEDs. Une subvention de 10 % supplémentaire est accordée par l'USEDA pour les communes

qui font le choix des LEDs. Un contrôle de qualité est également mis en œuvre, avec des automates permettant de suivre la consommation d'énergie en temps réel.

Dans le département de l'Aisne, il y a deux concessionnaires de distribution et de fourniture d'électricité : le SICAE (Société d'Intérêt Collectif Agricole d'Electricité) Aisne pour 140 communes, et ENEDIS pour les autres.

Les travaux sont effectués par le biais d'un marché à bons de commande avec des entreprises.

L'USEDA définit des prescriptions pour les entreprises grâce à une équipe composée d'un ingénieur et quatre techniciens qui effectuent aussi le suivi des travaux prescrits. L'USEDA dispose d'une base de données des points lumineux mais sans géolocalisation. Un marché pour le géo référencement de l'éclairage public a été lancé.

Sur le volet Biodiversité, l'USEDA ne dispose pas de personnel formé. Le sujet est de ce fait peu pris en compte.

L'USEDA sensibilise les maires pour éclairer au plus juste les éléments du patrimoine dans un objectif à la fois de réduction des consommations d'énergie mais aussi de réduction des nuisances lumineuses.

L'USEDA ne partage pas le point de vue de l'AFE (Association Française de l'Eclairage) qui de leur point de vue est plutôt pour éclairer toute la nuit, certes avec un flux résiduel. Toutefois, là où il y a des enjeux de sécurité important, l'USEDA conseille au maire d'éclairer toute la nuit.

L'USEDA fait de l'expérimentation pour assurer un éclairage assisté avec de la détection de mouvement au niveau de lotissements par exemple. Il est possible de réduire l'intensité lumineuse des ampoules LED jusqu'à 90 % et augmenter leur intensité en fonction du déplacement des passants. Malheureusement, les chiens et chats déclenchent souvent les détecteurs de mouvement.

3.5.4 Syndicat Intercommunal d'Energie des Communes de Flandre (SIECF)

Sont présentées ici des informations générales et une synthèse des échanges avec cet organisme en date du 15 novembre 2019 (voir compte rendu en Annexe au paragraphe 13.613.5).

Le SIECF a été créé en 1966. Il regroupe les communes de l'arrondissement de Dunkerque, hors Communauté urbaine de Dunkerque.

La liste des communes du SIECF est citée en Annexe au paragraphe 13.613.5.

Les Communes de FLEURBAIX, LAVENTIE, LESTREM et SAILLY sur la LYS sont également adhérentes au SIECF depuis le 1er janvier 2016.

Présidé par Michel DECOOL, le SIECF territoire d'énergie Flandre est un syndicat de communes, à la carte, qui regroupe les 98 communes de Flandre.

Le SIECF est labellisé territoire à énergie positive pour la croissance verte (TEPCV).

Pour l'éclairage public, 70 communes lui ont transféré la compétence investissement dont 50 lui ont aussi transféré la maintenance. Le SIECF gère donc 15 000 points lumineux.

Certaines communes pratiquent l'extinction nocturne de minuit à 5 heures, c'est au choix du conseil municipal.

Deux communes sont adhérentes au PNR Caps et marais d'Opale, d'où une attention particulière pour celles-ci.

Le SIECF est favorable à inclure davantage de critères en faveur de la biodiversité lors de travaux de rénovation d'éclairage. Il est notamment favorable à une intervention du Cerema sur ce sujet au cours de réunions avec les élus.

3.5.5 Fédération Départementale de l'Energie du Pas-de-Calais

Sont présentées ici des informations générales issues du site internet de la FDE 62.

La FDE 62 regroupe l'ensemble des communes du département, soit 889 communes. Aujourd'hui, aux communes se sont joints de nombreux EPCI du département. Pour ces collectivités, la FDE 62 a la charge de contrôler les concessionnaires auxquels elle a délégué le service public de distribution du gaz et de l'électricité. La FDE 62 conseille également les collectivités, les aide à mettre en œuvre des solutions de maîtrise de l'énergie et les accompagne vers une transition énergétique réussie.

3.6 Point de vue d'un Parc Naturel Régional : Caps et Marais d'Opale

Nous avons eu un échange téléphonique le 06 août 2019 avec Mme Delphine Panossian du Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale (PNR CMO). Le compte rendu complet est disponible en annexe au paragraphe 13.4.

Le PNR CMO mobilise son territoire pour maîtriser l'éclairage nocturne afin de réduire la consommation d'énergie et de lutter contre les effets de la pollution lumineuse sur l'environnement, la biodiversité et la santé.

La pollution lumineuse est travaillée depuis deux ans sous l'angle de label « Villages étoilés » pour motiver les collectivités. Une vingtaine de collectivités ont été labellisées via cette animation.

Pour le volet diagnostic, le partenaire dédié est la FDE 62 en raison de ses compétences administratives (délégation de compétence transféré par les communes adhérentes). Par ailleurs la FDE 62 apporte des aides financières conséquentes.

Il y a un travail sur la biodiversité en parallèle, notamment avec le bureau d'études Biotope pour faire une étude avec diagnostic de l'existant (biodiversité et éclairage) avec la commune d'Hardres. Cela a aussi été l'occasion de concrétiser un premier partenariat entre la FDE 62 et le PNR CMO. La commune d'Hardres est associée à l'étude en cours, le PNR a pu bénéficier de la géolocalisation des points lumineux. L'étude sur Hardres est transposable sur d'autres communes du territoire du PNR CMO.

Le bureau d'étude TerrOïko a également travaillé sur la trame verte et bleue pour rendre compte des réseaux écologiques sur tout le parc (rendu des documents courant 2018).

En interne au PNR CMO, de nombreux changements sur toutes les missions du parc ont eu lieu. Malheureusement, beaucoup de documents d'urbanisme ont été faits sans que le sujet de la pollution lumineuse puisse vraiment être intégré. Les services du PNR travaillent en amont de l'écriture des documents d'urbanisme le plus possible avec les collectivités pour avoir le moins d'impacts possibles...

Le Port de Boulogne a eu une démarche de réflexion par rapport à la pollution lumineuse en prenant en compte les enjeux de sécurité, de biodiversité...

3.7 Limites rencontrées

D'après le code général des collectivités territoriales, l'éclairage public est l'un des champs d'intervention du pouvoir de police du Maire. Il incombe donc au Maire de définir avec précision les lieux nécessitant de recevoir un éclairage artificiel, mais il n'existe toutefois pas d'obligation pour celui-ci d'éclairer sa commune.

Dans un contexte de rénovation d'un parc d'éclairage public, le Maire prend donc la responsabilité de ses décisions. Pour sa part, le syndicat accompagne, conseille et a le droit de regard sur tout ce qui est entrepris.

C'est alors qu'apparaît une première limite. Le syndicat d'énergie peut « mettre en garde » sur certaines décisions que pourrait prendre la commune, notamment au niveau des choix de modes d'éclairage, et plus particulièrement le type d'ampoule choisi. Régulièrement, les entreprises ou industriels sollicités préconisent encore un « sur-éclairage ». Il y a ainsi une certaine dépendance des collectivités aux concepteurs et fabricants, lesquels doivent pourtant se plier à la réglementation en vigueur en termes de prescriptions techniques.

L'entretien avec la FDE 80 a révélé que certains industriels tendaient à vendre des luminaires à LEDs trop forts en intensité et en température de couleur (paramètres impactant fortement la biodiversité nocturne). Un autre enjeu apparaît ici : les

industriels ont un grand rôle à jouer par leur implication, que ce soit au niveau de la recherche technologique, comme de leur prise de conscience des impacts des nuisances lumineuses. Un travail de sensibilisation est donc à réaliser auprès de ces structures. Les industriels devraient davantage développer la conception sur des LEDs ambrées, connotées comme étant moins impactantes pour la biodiversité, tout en assurant la fiabilité, la durabilité et l'accessibilité des systèmes de gestion intelligente de l'éclairage.

- Que ce soient les syndicats d'éclairage, les collectivités territoriales (et plus précisément les communes), ou encore les concepteurs, chacun a sa part de responsabilité dans les impacts provoqués par la lumière artificielle et le respect de l'environnement nocturne.
- Dans un contexte d'extinction nocturne, même les usagers ont leur part de responsabilité. Se référer aux textes :
 - Art 121-3 du Code Pénal : "pas de mise en danger délibérée de la personne d'autrui si tout est fait pour prévenir" ;
 - Art 1383 du Code Pénal : "chacun est responsable du dommage qu'il a causé non seulement par son fait, mais encore par sa négligence ou par son imprudence" ;
- Le rôle de l'Etat est prépondérant dans la lutte contre les nuisances lumineuses, car le grand public est très peu sensibilisé aux enjeux de protection du ciel nocturne et à l'incidence négative du sur-éclairage, tant sur la santé humaine que sur la biodiversité. C'est « l'acteur de première ligne » qui se doit de mettre en place des plans d'action pour une réduction et ainsi agir sur l'ensemble des acteurs de l'éclairage artificiel (collectivités, syndicats d'énergie, industriels, grand public...).

4 Mettre en place une trame noire

Après avoir vu les effets négatifs de la pollution lumineuse sur la biodiversité et comment étaient organisées différentes structures gestionnaires de l'éclairage public en Hauts-de-France, nous allons nous intéresser aux démarches de mise en place de trames noires.

4.1 Définition d'une trame noire

La trame noire peut se définir comme étant un outil de planification qui se focalise d'une part sur la conservation et la protection des corridors et noyaux écologiques nocturnes, et d'autre part sur les mesures de gestion de l'éclairage artificiel. Ces dernières encadrent notamment les mesures spatiales (densité et positionnement des points lumineux), les mesures temporelles (durée d'éclairage, extinctions nocturnes) et les mesures génériques à l'échelle des luminaires (composition de la lumière, ULOR²⁷, orientation, types de lampes, puissance, etc.). La mise en place d'une trame noire permet donc de prendre en compte l'effet des nuisances lumineuses sur les paysages et les écosystèmes nocturnes tout en agissant sur les composantes de l'éclairage artificiel.

Le concept de « trame noire » a récemment été instauré et peut se définir comme étant un instrument de lutte contre cette rupture de corridor écologique nocturne. Il consiste notamment en la formation ou protection d'un réseau écologique destiné spécifiquement à la biodiversité nocturne. Depuis son instauration en 2007 par le ministère de l'écologie, la trame verte et bleue (TVB) est devenue un concept bien inscrit dans les mœurs. Elle s'est notamment traduite par l'élaboration de Schémas régionaux de cohérence écologique (Sordello 2017c). La démarche d'élaboration d'un schéma de cohérence écologique (SRCE) s'établit comme suit :

- Identification des éléments constituant le réseau écologique ;
- Identification des points ou zones de conflits entre les éléments du réseau écologique et les éléments fragmentants ;
- Développement d'actions pour préserver ou restaurer le réseau écologique.

Dans le cadre de la mise en place d'une trame noire, il s'agit de transposer ces étapes spécifiquement aux réseaux écologiques nocturnes. Cette démarche est donc l'occasion de construire la TVB en y croisant la trame noire identifiée. En effet, il semble désormais fondamental de prendre en compte les trames nocturnes, au même titre que les trames vertes et bleues, pour préserver la biodiversité et les paysages nocturnes (Vauclair, Deverchère, Dark Sky Lab 2018).

Il convient de mener une réflexion multidisciplinaire approfondie et sur le long terme pour arriver à concilier les fonctions consensuelles de l'éclairage public avec

²⁷ « Upward Light Output Ratio ». Il indique la quantité de lumière émise vers le ciel, au-delà d'un angle de 90°. On parle de ULR (Upward Light Ratio) pour les LEDs

une certaine « sauvegarde » du noir, du nocturne comme ressource culturelle, sociale, sanitaire et comme biotope (Challéat 2014).

4.2 Pourquoi mettre en place une trame noire ?

Tel que nous l'avons abordé au chapitre premier, les enjeux du respect de l'environnement nocturne sont divers et variés. Ils concernent les enjeux environnementaux, sociaux, économiques (notamment en termes de sécurité, santé, environnement), et plus globalement le développement durable. Il s'agit donc de prendre en compte :

- Les impacts sur le milieu naturel (humain/santé, faune, flore, paysages) ;
- Les impacts sur la production, le transport et la consommation d'énergie ;
- Les impacts en termes de sécurité (routière, urbaine, industrielle, individuelle) ;
- L'ensemble des acteurs touchés par la mise en place d'une sobriété nocturne (notion d'interdisciplinarité).

4.3 Proposition d'étapes pour la mise en place d'une trame noire

Dans une étude réalisée par Romain Sordello en 2017 (Sordello 2017d), l'auteur propose un déroulé d'étapes dans le cadre d'une démarche de réseau écologique avec prise en compte de la lumière artificielle. Cet article expose des pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques et servira de base pour expliquer les étapes à suivre dans le cadre de la réalisation d'une trame noire. La figure 7 illustre et récapitule les étapes préconisées, lesquelles seront détaillées par la suite.

Ces étapes ont par ailleurs été reprises dans la démarche de mise en place d'une trame noire sur le Parc National des Pyrénées (Parc National des Pyrénées 2018).

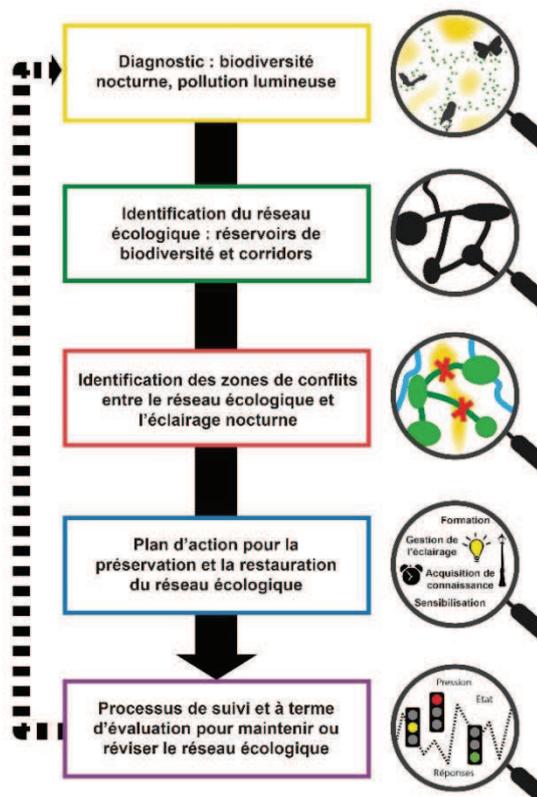


Figure 7: Récapitulatif de toutes les étapes d'une démarche de réseau écologique avec prise en compte de la lumière artificielle (source : (Sordello, 2017c))

4.3.1 Phase de diagnostic

Lors d'une conférence animée par Romain Sordello le 20 juin 2019 intitulée « Comment mettre en œuvre la trame noire ? », le chercheur a insisté sur le diagnostic à établir au préalable les différentes étapes d'identification de la trame noire. D'après lui, un diagnostic est réalisable d'une part en s'appuyant sur les données de biodiversité, mais aussi grâce aux données d'éclairage.

Concernant le diagnostic volet « biodiversité », il s'agit de se concentrer sur le recensement des espèces nocturnes présentes sur un territoire. Par exemple, il est possible d'engager des programmes d'inventaire de la biodiversité nocturne. Parmi ces derniers, il existe la base de données VigieChiro (actuellement plus de 2 millions de données collectées), ou encore l'Observatoire des Lucioles et Vers Luisants, qui est un programme de sciences participatives permettant de faire avancer la recherche en impliquant le grand public. Par ailleurs, il est préconisé de réaliser une cartographie du biotope qui implique de repérer les lieux d'habitat et de passage des espèces, en lien avec leurs modes de vie (reproduction, nidification, alimentation, gîte, etc.).

Pour ce qui est de l'éclairage, de nombreux outils de diagnostic existent, mais se doivent d'être complémentaires entre eux pour obtenir des résultats les plus fidèles possibles. En effet, plusieurs sources existent mais diffèrent par leur échelle. Il est ainsi possible de :

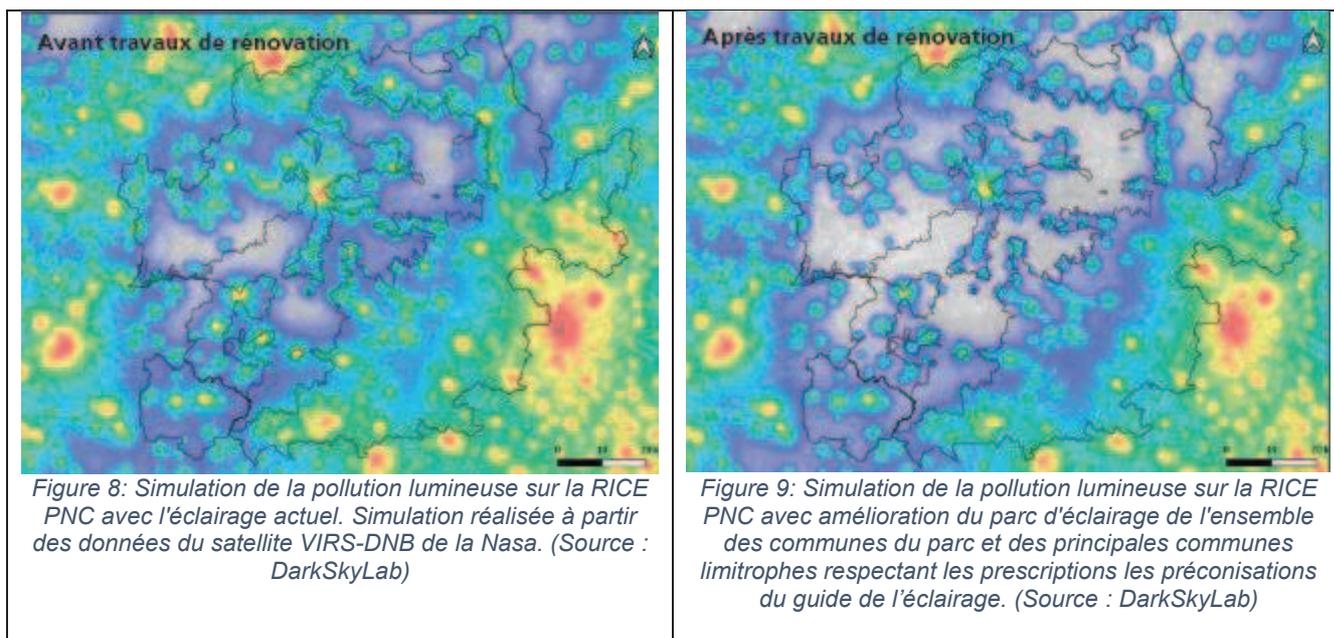
- Faire des relevés de la luminance grâce aux Sky Quality Meter (SQM, utilisés surtout par les astronomes) ;
- Recenser les matériels, installations et pratiques de gestion sur le territoire ;
- Réaliser une géolocalisation des données du parc lumineux (cet inventaire est l'occasion de cibler les luminaires boules et lampes les plus énergivores et nocives par exemple) ;
- D'utiliser les photos aériennes prises de nuit pour localiser les points lumineux (comme la ville de Nantes qui a eu recours à un drone pour une analyse très fine et précise, mais coût important) ;
- D'utiliser des cartes fondées sur la thermographie aérienne (comme dans le cadre de l'expérimentation par la Ville de Lille qui a permis de qualifier les différentes sources lumineuses publiques et privées) ;
- D'avoir recours aux images satellites (observations spatiales de la Nasa, des cartes de l'association d'astronomie AVEX). Pour ces dernières, les résultats sont très limités car ne révèlent pas l'entièreté de la pollution lumineuse car ne montrent pas la lumière orientée vers le bas ;
- Utiliser un ortholuminoplan déjà existant comme préalable à la définition d'une trame noire pour les villes : diagnostic de l'éclairage public par géolocalisation des points lumineux à partir d'une orthophotographie nocturne des villes.

Le rassemblement de ces éléments permet de construire une cartographie de pollution lumineuse, nécessaire pour envisager des actions prioritaires par la suite. C'est un préalable indispensable au diagnostic et au projet, mais aussi à la planification et ce, à différentes échelles (Auricoste, Landel, Simoné 2018). La cartographie peut également être pondérée par la mesure du halo lumineux et de la qualité du ciel nocturne, de la pollution lumineuse au sol, en y croisant la cartographie du biotope.

Plusieurs sociétés sont aujourd'hui qualifiées pour produire des ortholuminoplans tels que Air Climat Environnement mais également le laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE). Leurs livrables s'articulent autour de la classification par intensité lumineuse avec 6 niveaux d'éclairage, du classement des éclairages par indice, de l'intégration des résultats sous SIG. Pour la ville de Nantes, les coûts pour réaliser ce diagnostic se sont élevés à 80 000 euros HT.

4.3.1.1 Exemple du Parc National des Cévennes

A titre d'exemple, le guide de l'éclairage du Parc National des Cévennes (labellisé Réserve Internationale du Ciel Etoilé (RICE) en 2013) préconise la modélisation de la pollution lumineuse en se basant sur des simulations. Ainsi, deux cartes ont été réalisées grâce au logiciel Otus de DarkSkyLab :



4.3.1.2 Exemple du Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale

Le PNR CMO a, quant à lui, fait appel à une entreprise de l'ingénierie écologique (TerrOïko) pour réaliser ses cartes de simulation de pollution lumineuse via la plateforme SimOïko. L'étude s'est d'abord portée sur la hiérarchisation des enjeux de la trame noire à l'échelle des communes du parc (Figure 10).

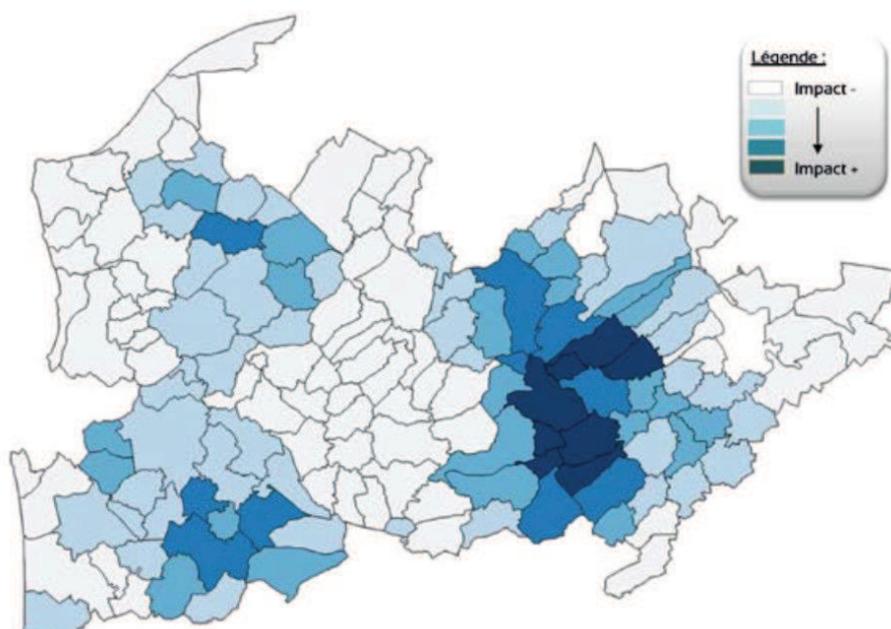


Figure 10: Cartographie de la hiérarchisation des enjeux de trame noire à l'échelle des communes du parc (source : (Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale 2019))

La plateforme a permis de réaliser un diagnostic précis avec pour objectif de rendre compte de la fonctionnalité de la trame noire, tout en étant un support pédagogique pour la concertation et l'articulation avec les enjeux socio-économiques du territoire. L'objectif final étant d'aider à la planification d'une stratégie de trame noire et de dérouler un programme opérationnel d'actions (SimOïko 2018). Le diagnostic des continuités écologiques repose sur une cartographie à deux dimensions : avec et sans lumière (Figure 11). Par ailleurs, la simulation a été réalisée à partir d'une étude précise des tailles de populations et des déplacements des chiroptères du parc (SimOïko 2018).

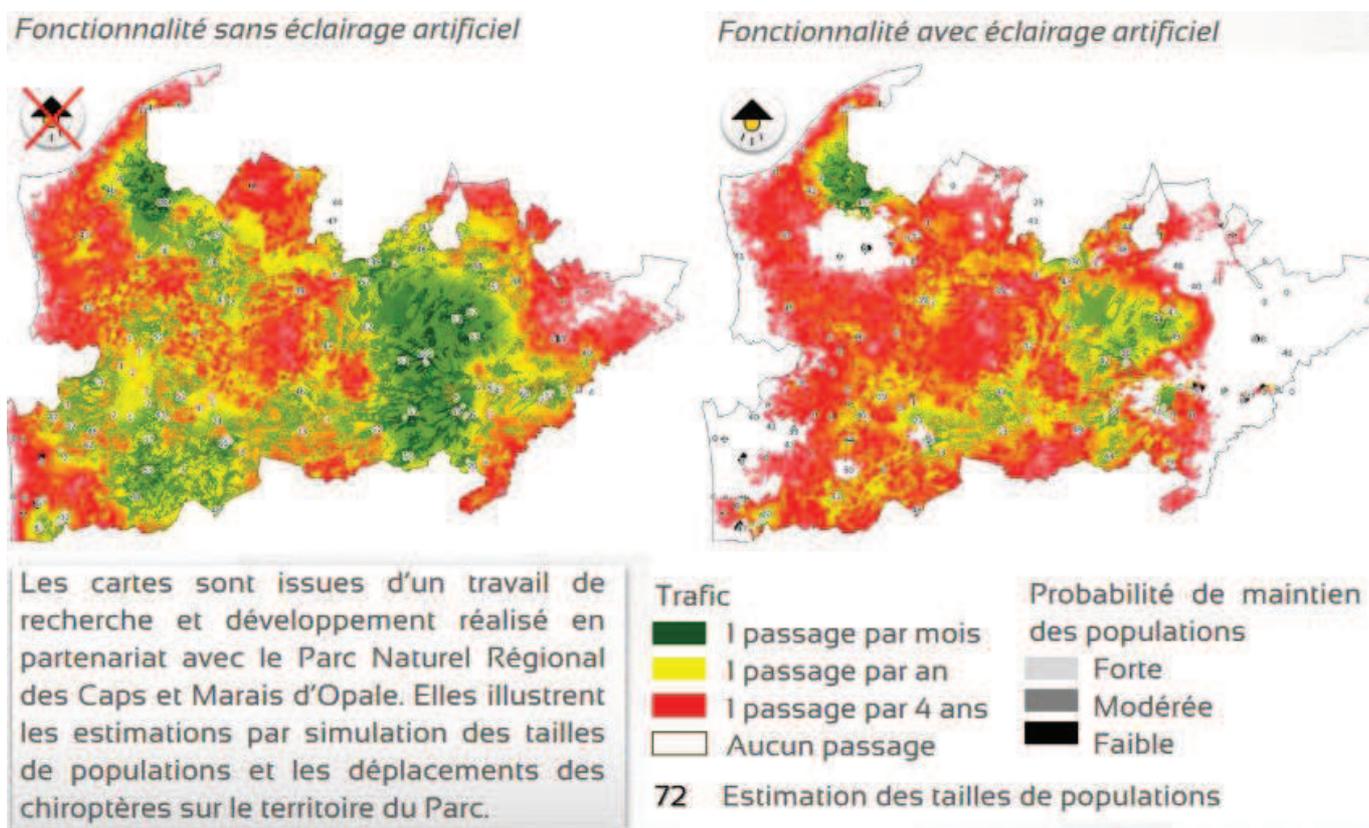


Figure 11: Diagnostic des continuités écologiques avec et sans lumière (source : (SimOïko 2018))

En s'appuyant sur ce diagnostic, SimOïko a ainsi pu réaliser une analyse prospective permettant de visualiser sur des cartes le gain en terme de survie et de déplacement des espèces si l'éclairage artificiel était atténué (Figure 17).



Figure 12: Analyse perspectives : à gauche, paysage et lumière artificielle; à droite, scénario de réduction de l'éclairage artificiel (source : (SimOïko 2018))

Toutefois, il est difficile de juger de la fiabilité des résultats obtenus car les données sources utilisées n'ont pas été communiquées.

4.3.1.3 Perspectives

Il est à noter que les travaux de diagnostic déjà réalisés dans les territoires les plus avancés pourraient être transposés pour effectuer un appel à projet. Un diagnostic déjà réalisé est d'ailleurs mis en valeur notamment pour envisager ou prétendre à la demande d'aides financières.

Il est également à prendre en compte de nos jours, il n'existe aucune base nationale de recensement des lampadaires ou de programme de sciences participatives permettant de disposer de mesures de terrain sur toute la France.

Les données satellitaires sont donc privilégiées pour le moment car ce sont les seules paraissant réalistes en l'état des données disponibles à l'échelle nationale (Sordello, Azam, et al. 2018). Néanmoins, des villes comme la Rochelle, Montpellier, Bordeaux ou encore Paris ont entrepris, elles-mêmes, de référencer leurs points lumineux. Ces recensements sont consultables sur la plateforme NuitFrance (SORDELLO 2018). La ville de Paris est la seule commune à avoir rendu public sa base de donnée de l'éclairage public (<https://opendata.paris.fr/pages/home/>).

4.3.2 Identification du réseau écologique : réservoirs de biodiversité et corridors

Cette étape s'articule en 2 sous-étapes complémentaires : la prise en compte de la lumière artificielle dans la caractérisation des réservoirs de biodiversité d'une part, et d'autre part dans la caractérisation des corridors écologiques.

Concernant les réservoirs de biodiversité, les aires « déjà » protégées sont pertinentes à intégrer dans un réseau écologique d'un point de vue de la protection de l'environnement nocturne. En effet, ces aires terrestres sont généralement préservées de la pollution lumineuse et leurs gestionnaires sont moteurs dans le développement d'initiatives pour la protection de la nuit.

Dans le cadre de l'identification du réseau écologique, il existe deux méthodes. Ce sont des outils qui doivent être complémentaires l'un l'autre :

- Méthode intégrative : travail de modélisation mettant en lien les données biologiques d'activité avec non seulement les aspects paysagers mais aussi avec la lumière artificielle. Cela permet de visualiser les espaces adaptés ou non pour les espèces nocturnes ;
- Méthode déductive : si elle a déjà été identifiée, il s'agit de regrouper les éléments de la trame verte et bleue avec les zones noires. La méthode suppose soit de créer une nouvelle trame noire venant s'ajouter à la TVB, soit de déduire la trame noire de la TVB avec les cartes de pollution lumineuse pour ne retenir que les zones noires de chaque sous-trame (Sordello 2017d).

Les modélisations de trame noire déjà établies via différentes études et réflexions se sont basées sur le choix d'une ou plusieurs espèces cibles. L'idée est de superposer les cartes de pollution lumineuse avec, à la fois le seuil de sensibilité à la lumière de/des espèces(s) choisies et leur distribution spatiale. Il s'agit donc de déterminer la diversité des espèces présentes sur le territoire d'étude et de comparer la présence de celles-ci aux données de pollution lumineuse.

Le plus souvent, les chiroptères constituent le groupe biologique cible pour réaliser cette modélisation en raison de leur sensibilité avérée à la lumière artificielle et parce qu'elles sont présentes quasiment sur l'ensemble du territoire national. L'intégration de données écologiques dans un modèle numérique permet de comprendre l'influence de la pollution lumineuse sur la distribution spatiale et l'activité des chiroptères (Sordello, JUPILLE, et al. 2018).

Par exemple, la ville de Lille a fondé sa modélisation sur la distribution spatiale de 3 espèces de chiroptères (Figure 13). La première étape du projet consistait en la réalisation d'inventaires écologiques qui ont permis de déterminer la diversité des espèces de chauves-souris sur l'aire d'étude, puis de quantifier leur niveau d'activité. Pour ce faire, 399 sites ont été sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques environnementales. L'objectif était de pouvoir comparer des sites présentant des gradients d'intensité lumineuse, d'urbanisation, de présence de cours d'eau ou d'éléments arborés. Les inventaires ont été réalisés sur des nuits complètes dans les secteurs les plus contrastés de l'aire d'étude, allant des territoires les plus ruraux exempts de lumière aux secteurs urbains fortement éclairés. Les résultats ont révélé la présence de 9 espèces de chiroptères, ce qui est particulièrement surprenant compte tenu de la forte anthropisation du territoire. Cependant, il faut noter que la distribution de ces espèces reste très variable : la Pipistrelle commune était présente sur l'ensemble du territoire alors que le groupe des Sérotines ou des Noctules présentaient des aires de répartition bien plus restreintes.

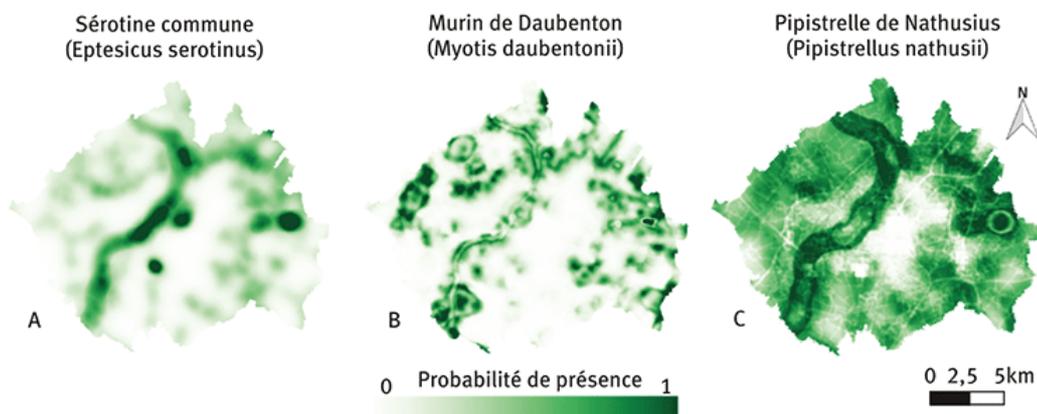


Figure 13: modélisation de la prédiction de distribution attendue de 3 espèces de chiroptères (source : (Sordello, JUPILLE, et al. 2018))

A partir de ce premier « jeu de données », un travail de simulation a pu être engagé : des scénarii de réduction/gradation de l'intensité lumineuse ont pu être créés en fonction du seuil de sensibilité de la lumière pour l'espèce étudiée.

De la même façon, la ville de Douai a aussi engagé une réflexion de mise en place de trame noire en se basant sur la distribution d'espèces de chauves-souris. Premièrement, il était question de recenser les réservoirs de biodiversité et corridors existants. L'étude s'est ensuite fondée sur l'état initial chiroptérologique. Il s'agissait de choisir les lieux stratégiques de pose pour l'écoute des chiroptères : croisement effectué entre la proportion de végétation présente dans toute la ville avec l'illuminance (somme des flux lumineux en un point donné) obtenue à partir d'une photographie aérienne nocturne. Les résultats ont révélé des enjeux chiroptérologiques forts dans la ville de Douai avec 11 espèces identifiées. En vue de l'élaboration de la trame sombre, des cartes d'abondance empirique à partir des graphiques ont été réalisées (Figure 14). Une tendance est d'ailleurs visible de la sensibilité à la lumière entre les différentes espèces, excepté pour la Pipistrelle commune connue comme étant luminotolérante.

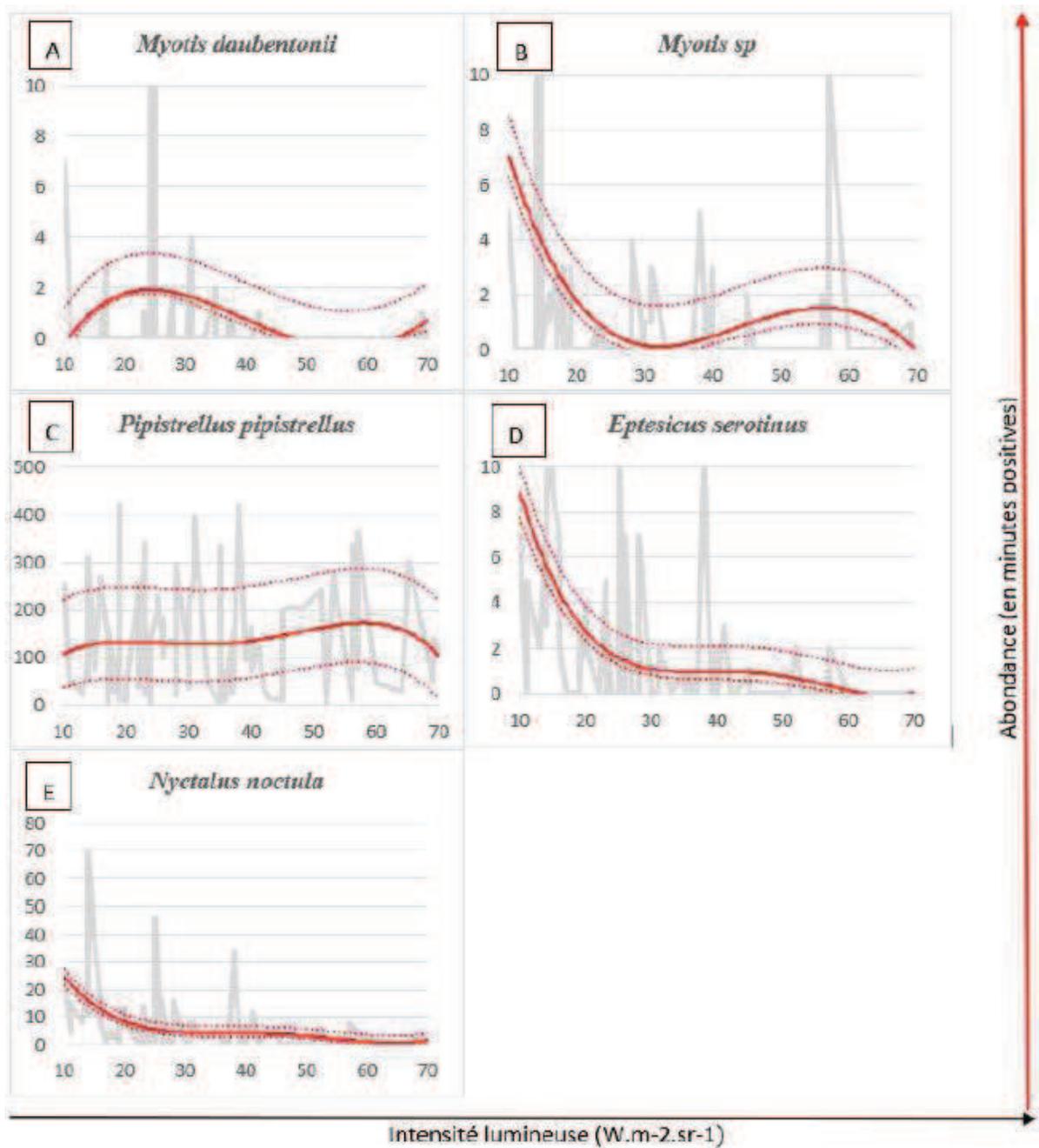


Figure 14: Graphiques représentant l'abondance de 5 espèces de chauves-souris en fonction de l'intensité lumineuse (source : (Valet 2018))

4.3.3 Identification des zones de conflits entre le réseau écologique et l'éclairage nocturne

Cette étape consiste à croiser les zones de conflits déjà identifiées (par exemple à partir de la TVB existante) avec les « nouvelles » zones de conflits provoquées par les nuisances lumineuses (Figure 15). Ces points d'intersection problématiques peuvent être hiérarchisés en fonction de l'intensité du caractère infranchissable. IL est à noter que cet effet barrière peut être variable en fonction du seuil de sensibilité à la lumière des espèces étudiées. Cette démarche a notamment été mise en place par le Parc Naturel Régional des Causses du Quercy (Garnier 2012).

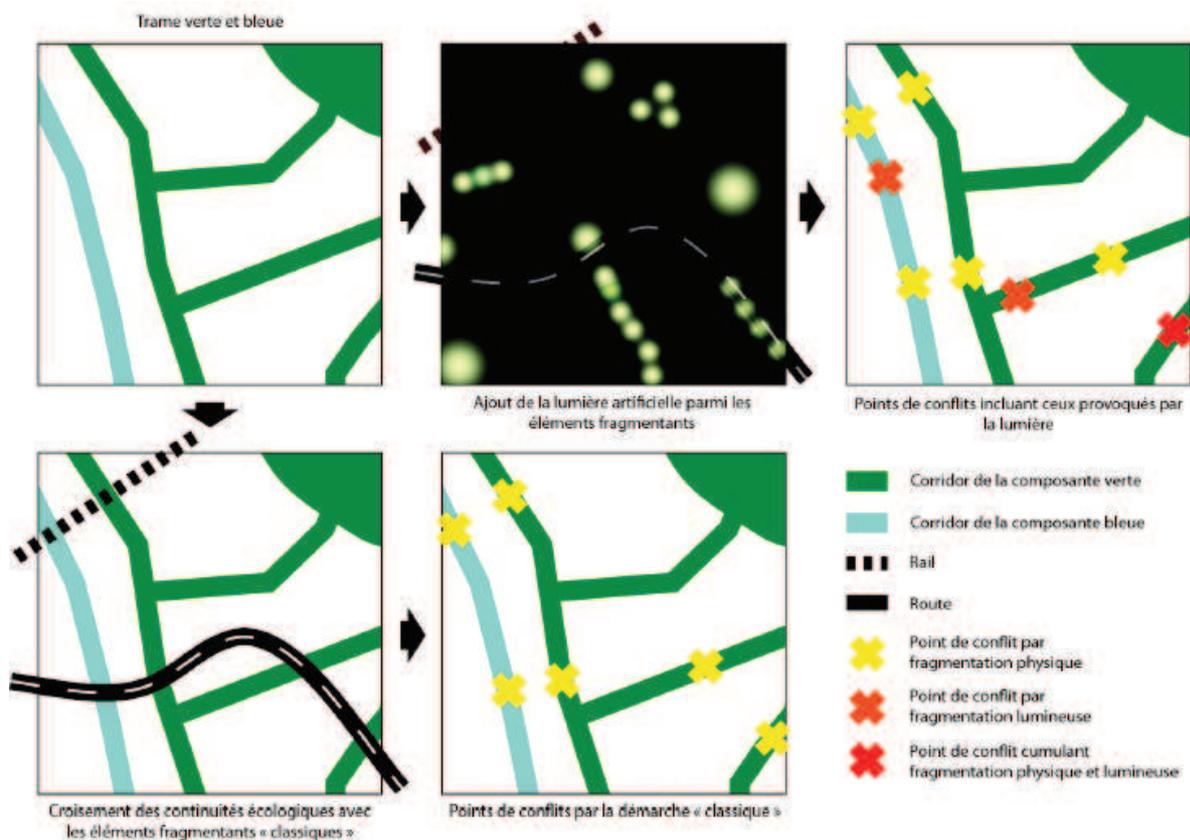


Figure 15: Illustration de la démarche d'identification des points de conflits provoqués par la lumière artificielle (source : (Sordello 2017c))

Dans le cas de la ville de Douai, les cartes d'abondance estimées ont permis de mettre en valeur les zones de conflits. La zone encadrée en rouge sur la figure 16 montre que le niveau d'activité des Sérotines et Noctules est plus faible.

C'est pourquoi la carte a été superposée avec la localisation des lampadaires supérieurs à 3000 K dans ce secteur (Figure 17). Sans surprise, les points lumineux sur la zone présentaient une température de couleur supérieure à 6000K.

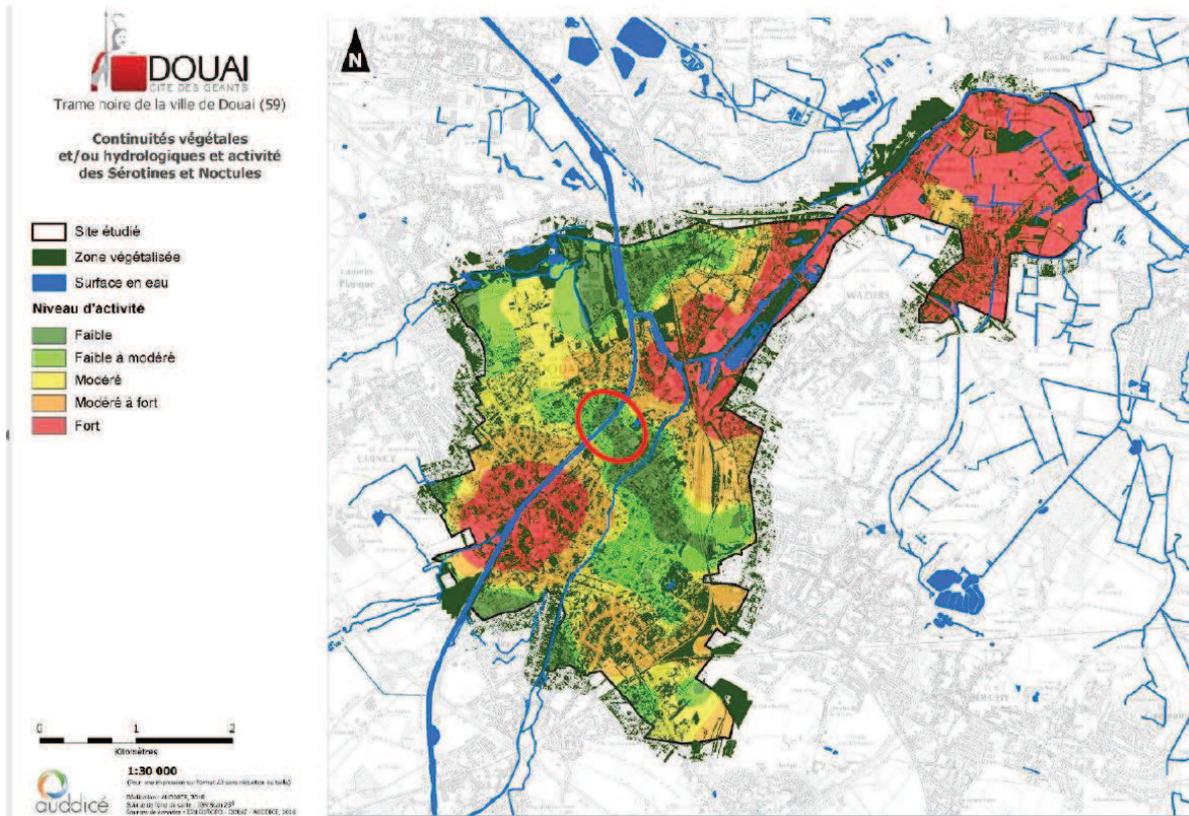


Figure 16: Carte des continuités végétales et/ou hydrologiques et activité des Sérotines et Noctules (source : AUDDICE, 2018)

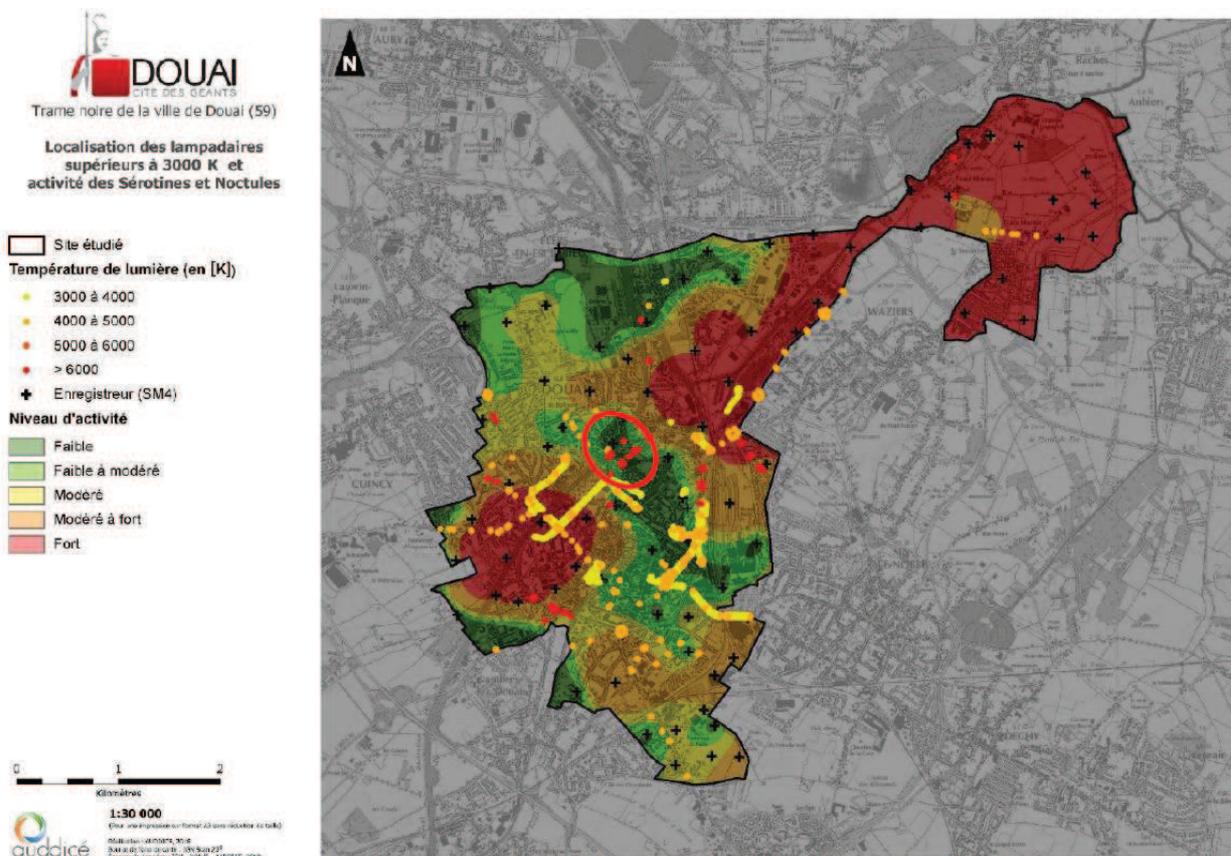


Figure 17: Carte de la localisation des lampadaires supérieurs à 3000 K et activité des Sérotines et Noctules (source : AUDDICE, 2018)

4.3.4 Plan d'action pour la préservation et la restauration du réseau écologique

Après avoir identifié les réseaux écologiques incluant les nuisances lumineuses, il s'agit d'engager des pistes d'action pour préserver et/ou restaurer ces réseaux. L'objectif principal est de diminuer le niveau de fragmentation et d'atténuer voire supprimer les zones conflictuelles identifiées. De nombreuses mesures peuvent ainsi être mises en place pour réduire l'effet barrière et maintenir ou restaurer la fonctionnalité du réseau écologique. Pour conserver une fonctionnalité écologique globale, des préconisations de gestion de l'éclairage peuvent être formulées pour moduler l'éclairage sur l'ensemble des réseaux écologiques (Sordello 2017c).

Ainsi, il est possible d'agir à la fois sur les dimensions temporelles et spatiales de l'éclairage, mais également sur les luminaires eux-mêmes (notamment orientation de la lumière, température de couleur, etc., cf Figure 18).

Cependant, comme le seuil de sensibilité à la lumière est variable selon les groupes taxonomiques, voire à l'échelle de l'espèce, il faut bien prendre en compte qu'il est difficile de préconiser des solutions techniques valables pour l'ensemble des groupes biologiques (Musters, Snelder, Vos 2009b).

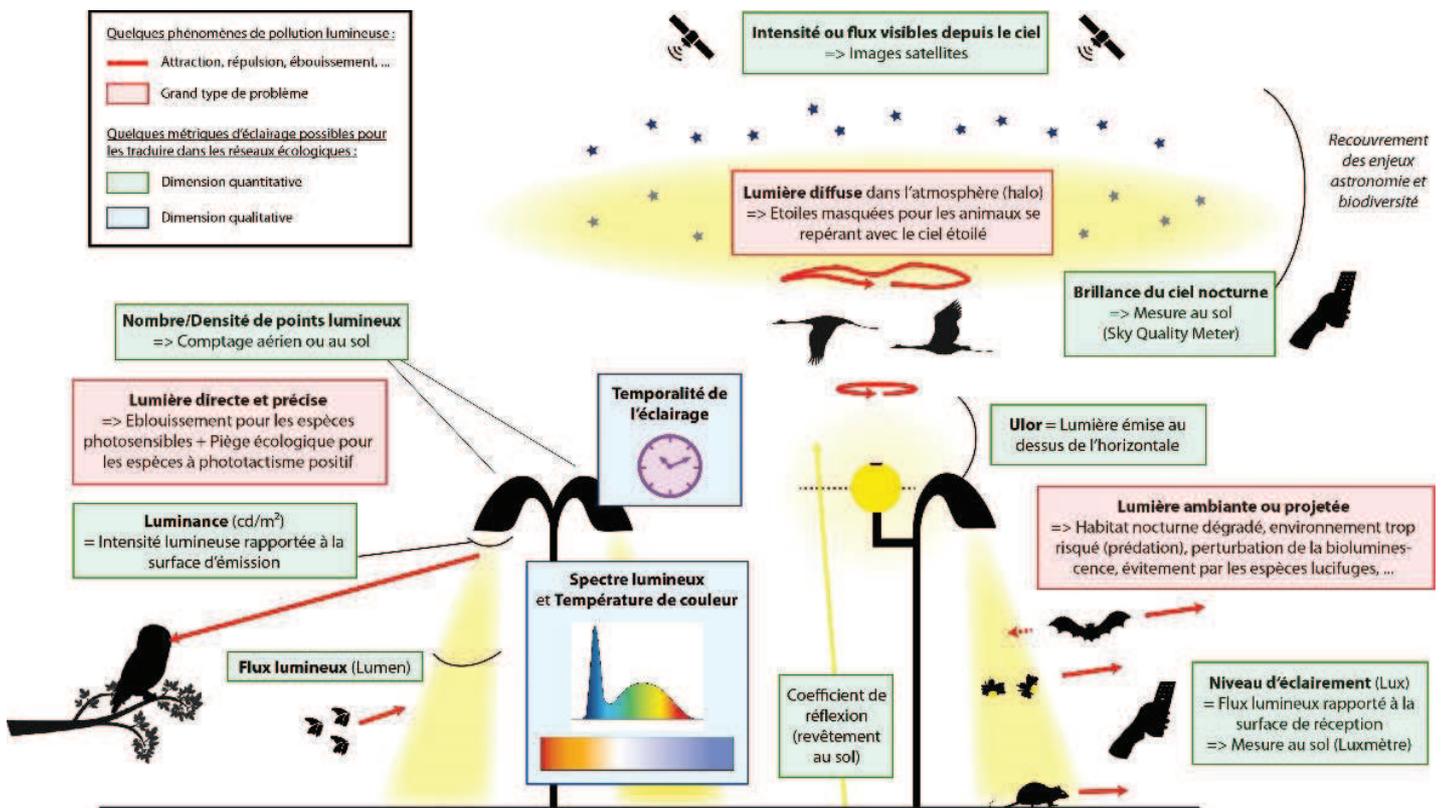


Figure 18: Exemples d'éléments de réflexion sur les variables d'éclairage à considérer dans un réseau écologique (source : (Sordello 2017c))

A titre d'exemple, la ville de Lille a déployé des actions concrètes de conservation des réseaux écologiques identifiés. Elle a établi quatre scénarii d'éclairage (réduction de l'intensité lumineuse dans les parcs urbains, autoroutes, dans les communes de moins de 10 000 habitants et/ou de plus de 10 000 habitants). Ces scénarii ont été testés sur les corridors les plus fonctionnels possibles pour les chiroptères.

En ce qui concerne la Réserve Internationale de Ciel Etoilé (RICE) du Pic du Midi, un guide de l'éclairage a récemment été rédigé (2019). Ce dernier constitue une très bonne référence en termes de critères d'efficacité avec des résultats visiblement encourageants (Pic du Midi et al. 2019).

4.3.5 Processus de suivi et à terme d'évaluation pour maintenir ou réviser le réseau écologique

Pour évaluer l'efficacité des actions mises en œuvre en faveur de la préservation et/ou restauration des réseaux écologiques, la construction d'indicateurs de suivi est indispensable.

En effet, dans un contexte d'érosion de la biodiversité, les sociétés ont besoin de métriques fiables sur les pressions qu'elles exercent sur la biodiversité par leurs activités (Sordello, Azam, et al. 2018). De même, il faut qu'elles puissent évaluer l'état et l'évolution de la biodiversité sous l'effet de ces pressions, tout en vérifiant si les mesures adoptées pour atténuer les pressions sont efficaces. La mise en place d'un jeu d'indicateurs basé sur le modèle *Pression-Etat-Réponse (PER)* semble être la meilleure solution pour répondre à ces besoins (Sordello, Azam, et al. 2018).

Cette démarche repose sur trois grands types d'indicateurs :

- Des indicateurs de pression : mesure factuelle de la pression à laquelle on s'intéresse et qui pèse sur la biodiversité ;
- Des indicateurs d'état : mesure de l'état de la biodiversité en réaction à cette pression ;
- Des indicateurs de réponse : mesure des réponses de la société au sens large (politiques, comportements, projets, etc.) mises en œuvre pour réduire la pression et ses effets sur la biodiversité.

En ce qui concerne les nuisances lumineuses, il n'existe actuellement pas de tels jeux de données à l'échelle nationale permettant de bâtir des indicateurs. Dans leur étude réalisée en 2018, Sordello et ses collaborateurs proposent une liste d'indicateurs selon le modèle PER (Figure 24) (Sordello, Azam, et al. 2018).

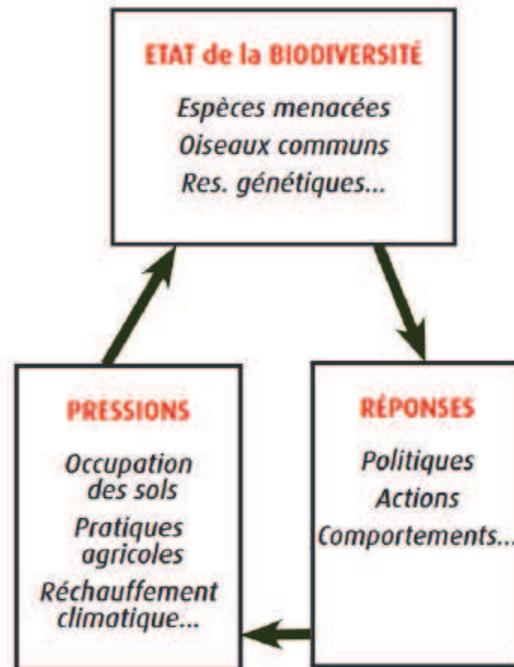


Figure 19: modèle PER, dans un cadre général (source : (Sordello, Azam, et al. 2018))

4.3.5.1 Indicateurs de pression

D'après les auteurs, la mesure de ces indicateurs repose notamment sur les données satellites car ce sont les seules qui paraissent réalistes en l'état des données disponibles à l'échelle nationale. Néanmoins, un travail de terrain, donc plus local, référençant les points lumineux peut compléter les données satellites. En parallèle, compte tenu de la complexité des paramètres inhérents à la lumière artificielle (niveaux d'éblouissement, lumière perçue au sol, température de couleur, durée d'éclairage la nuit, etc.), ces derniers constituent également des indicateurs de pression à mesurer. En effet, les effets sur la biodiversité sont directement dépendants de ces paramètres, et donc leur évaluation également. Globalement, pour les indicateurs de pression, les auteurs proposent des rendus fondés sur un système de classement national (Sordello, Azam, et al. 2018).

4.3.5.2 Indicateurs d'état

La mesure d'indicateurs d'état repose essentiellement sur le choix d'espèces nocturnes cibles, c'est-à-dire pour lesquelles la pollution lumineuse est la menace principale ou au moins l'une des principales. En l'état des connaissances actuelles, les groupes biologiques les plus intéressants porteraient sur les chiroptères, les hétérocères et certains coléoptères. A ce propos, les chauves-souris se sont révélées être de bons indicateurs pour la mise en place d'une trame noire car elles sont longévives et nocturnes (et sensibles à la lumière artificielle), ce qui permet de mesurer

l'impact des actions sur la durée. A titre d'exemple, certaines espèces de chauves-souris ont été étudiées dans une réflexion d'élaboration de trame noire dans le Parc National des Pyrénées, celui des Cévennes, pour la ville de Douai, mais aussi celle de Lille. Pour ce faire, la trame noire est calée sur le seuil de sensibilité à la lumière des chauves-souris.

4.3.5.3 Indicateurs de réponse

Les indicateurs de réponse sont notamment fondés sur l'évolution et l'efficacité des réactions/retours apportés par les acteurs politiques et opérationnels (éclairagistes, gestionnaires, scientifiques, élus, etc.) aux problèmes que l'éclairage nocturne pose à la biodiversité. Ces réponses peuvent s'appuyer sur la planification et sur les projets d'aménagement, notamment via la création d'aires protégées dédiées à la qualité de l'environnement nocturne, ou encore grâce aux schémas prenant en compte la problématique de pollution lumineuse pour la biodiversité.

La réflexion devrait également être systématiquement étendue aux documents d'urbanisme et de planification : Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT), Plans Locaux d'Urbanisme communaux ou intercommunaux (PLU(i)). En complément, les communes ou intercommunalités ont la possibilité d'élaborer des schémas de planification de l'éclairage nocturne : Schémas Directeurs d'Aménagement Lumière (SDAL), Schémas de Cohérence d'Aménagement Lumière (SCAL) ou encore Plans Lumière (PL), lesquels pourraient intégrer un volet biodiversité. Les trames noires existantes en France pourraient aussi constituer un indicateur intéressant pour suivre le déploiement de cette nouvelle forme de trame. On peut d'ailleurs remarquer une certaine montée en puissance de ces projets en France.

Par ailleurs, les modes de gestion de l'éclairage pourraient également être transposés comme indicateurs de réponse. En effet, la gestion de l'éclairage est indéniablement un levier majeur pour réduire la pollution lumineuse de manière effective. Dans ce volet, les constructeurs, les élus, les gestionnaires d'éclairages, etc. sont concernés.

Le rapport cité au paragraphe 4.3.5.1 concernant les indicateurs (Sordello, Azam, et al. 2018) présente un premier travail exploratoire destiné à réfléchir à la construction d'indicateurs nationaux de pollution lumineuse selon le modèle PER et mérite vivement d'être consulté pour approfondir les pistes.

L'excellent rapport du CGEDD "A la reconquête de la nuit" (Auricoste, Landel, Simoné 2018), rassemble les éléments recueillis au niveau des interlocuteurs de la pollution lumineuse. Ces éléments doivent permettre de mesurer l'évolution de la pollution lumineuse, ses différents impacts mais aussi les progrès de l'action publique et privée. Davantage portée sur la nécessité de références normatives et sur l'adaptation du caractère multidimensionnel de la pollution lumineuse en fonction de l'échelle (nationale, régionale, locale), la mission précise les indicateurs nationaux présentés ci-dessus. Elle insiste par ailleurs sur l'importance de disposer d'indicateurs de suivi en créant un indicateur de renouvellement du parc public grâce au nombre

d'opérations de rénovation d'éclairage public effectuées par an. Par ailleurs, il s'agit de prévoir un suivi de la planification intégrant les nuisances lumineuses (Auricoste, Landel, Simoné 2018).

4.3.5.4 Perspectives pour la mise en place de suivis à l'échelle nationale

D'un point de vue « suivi », la mise en place d'indicateurs nationaux semble plus que nécessaire. Il s'agit de définir des indicateurs pour mesurer, d'une part, la pression lumineuse environnementale, l'évolution de la biodiversité nocturne et les progrès de l'action publique (notamment en termes de décisions et changements de comportements). Cela serait possible en suivant l'évolution du nombre de points lumineux à l'échelle nationale et nécessite donc l'acquisition et l'accès à ces données, mais aussi en valorisant les bio-indicateurs nationaux de biodiversité (données chauves-souris et leurs seuils de sensibilité à la lumière), et de prévoir un suivi national des renouvellements des parcs d'éclairage qui intègrent la pollution lumineuse.

4.4 Conclusion sur la trame noire

Il n'existe pas de trame noire unique du fait de la divergence des exigences écologiques des espèces étudiées. Il existe donc un réseau de corridors dont les caractéristiques varient en fonction des espèces étudiées (localisation, densité, distances...) (Sordello, JUPILLE, et al. 2018).

Il apparaît nécessaire, au vu des éléments précédents, d'approfondir, de rassembler et de partager les méthodes et connaissances. Il faudrait notamment disposer de recherches scientifiques interdisciplinaires pour inclure sur le long terme les chercheurs et sur le court terme les constructeurs de l'éclairage. Par ailleurs, le manque de revues scientifiques systématiques sur l'impact de l'éclairage sur la biodiversité se fait ressentir. Ces dernières pourraient être appuyées financièrement par l'Etat (Auricoste, Landel, Simoné 2018).

Il est à noter que la cartographie est nécessaire pour envisager des actions prioritaires. En effet, la géolocalisation des données du parc lumineux public pourrait être exigée réglementairement en vue de conditionner une action publique priorisée à différentes échelles nationales. L'arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses prévoit à son article 5 que le gestionnaire tienne à disposition un certain nombre d'informations sur le parc d'éclairage mais pas sa cartographie.

Par ailleurs, l'ensemble des éléments décrits ci-dessus souligne la nécessité d'engager le plus rapidement possible des programmes nationaux pour consolider la problématique du jeu d'indicateurs.

A l'échelle régionale des Hauts-de-France, il serait également très utile de disposer d'un centre de ressource trame noire qui permettrait de collecter les outils pertinents pour la constitution d'une trame noire ainsi que les retours d'expérience des

collectivités qui se sont engagées dans une démarche de réduction des nuisances lumineuses à des fins de préservation de la biodiversité.

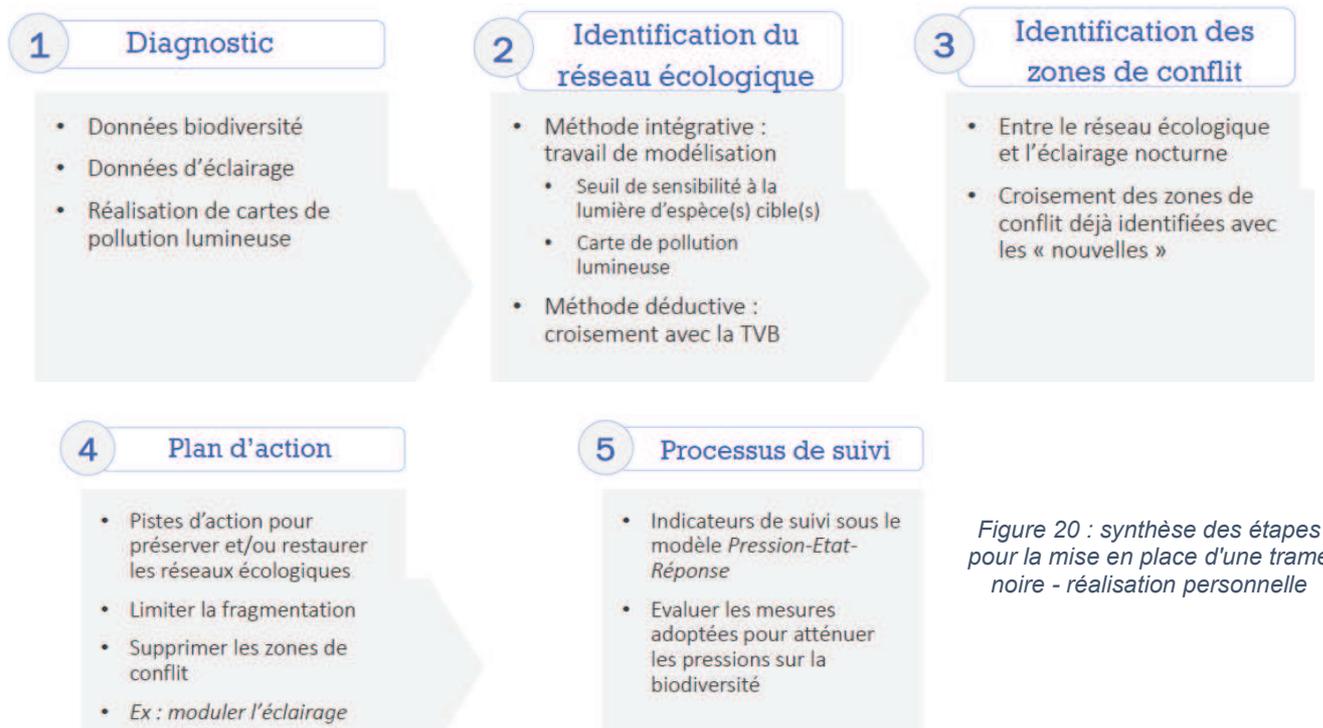


Figure 20 : synthèse des étapes pour la mise en place d'une trame noire - réalisation personnelle

5 Comment réduire les impacts ?

5.1 Plusieurs voies possibles pour réduire les impacts

L'éclairage public ayant une forte influence sur les espèces nocturnes et leur activité, les mesures d'extinction d'éclairage semblent être bénéfiques pour l'ensemble des écosystèmes, même si des zones sont à plus forts enjeux que d'autres (territoires ruraux). L'essentiel étant de trouver le meilleur moyen « d'éclairer juste ». Il est primordial de remettre en question avant tout la nécessité même de l'éclairage artificiel. En effet, selon les besoins et usages, il s'agit d'éclairer les situations pour lesquelles la lumière est réellement indispensable, souvent pour des raisons de sécurité. De la même façon, il faut réfléchir à la période de la nuit où l'éclairage est pertinent, et ce, selon l'activité des usagers. Les technologies de minuterie, de détecteurs de mouvement permettent de répondre à cette dimension temporelle.

D'autres facteurs, sous une approche plus technique, sont également à prendre en compte pour réduire les impacts de l'éclairage artificiel, comme le type d'ampoule, leur température de couleur et la direction de l'éclairage des lampadaires, ou encore la distance jusqu'à laquelle la lumière a un impact (Vernet 2014).

5.2 Comment gérer l'éclairage nocturne ?

La première étape à suivre pour gérer l'éclairage nocturne repose sur la collecte de données de lumière artificielle (localisation des points lumineux notamment, paramètres de lumière à considérer). Cependant, cette collecte peut se révéler complexe si on prend en compte que la lumière a des effets différents sur la biodiversité. Cela s'explique surtout par le fait que la lumière puisse être :

- « Directe » : risques d'éblouissement, de lésions oculaires ;
- « Précise » : pouvoir d'attraction ou de répulsion de la lumière sur la faune nocturne ;
- « Ambiante » : éclairage des feuillages, du sol, perçu comme un risque accru de prédation par certains animaux nocturnes ;
- « Diffuse » : formation d'un halo lumineux dans le ciel en raison notamment de l'association des particules en suspension dans l'atmosphère et des particules de lumière. Ce halo masque les étoiles et limite voire empêche le repérage nocturne.

L'ensemble de ces phénomènes est à prendre en compte dans la conservation et la restauration des réseaux écologiques, la difficulté étant de parvenir à traduire ces paramètres pour qu'ils soient quantifiables, de façon à les intégrer concrètement dans les réseaux écologiques (Sordello 2017c).

Néanmoins, avec l'état actuel des connaissances sur l'impact de la lumière artificielle, il est possible d'intervenir sur la gestion de l'éclairage nocturne pour minimiser au maximum les incidences négatives. Elle s'établit selon un axe spatial, temporel et les caractéristiques des luminaires. Les nouvelles technologies pourraient

permettre de répondre à l'ensemble de ces dimensions. Néanmoins, il faut prendre en compte que l'accélération des mutations technologiques est à la fois un levier et un facteur de risques (Auricoste, Landel, Simoné 2018).

5.2.1 Dimension spatiale de l'éclairage

La dimension spatiale de l'éclairage concerne toutes les échelles d'un territoire, allant du milieu naturel (en périphérie de ville) en passant par le quartier jusqu'au luminaire lui-même.

Certains espaces recouvrent des enjeux forts en termes de biodiversité, c'est le cas des milieux naturels tels que les cours d'eaux, forêts etc. C'est également le cas de milieux anthropiques comme le patrimoine bâti. Il convient donc d'être d'une grande vigilance face à ces lieux riches en espèces. En premier lieu, il est nécessaire de conserver les vastes espaces sans lumière existants, ainsi que les corridors de connexion sans lumière. De la même façon, il faut éviter d'installer de nouveaux points lumineux à proximité des espaces naturels protégés, les cours d'eau et zones humides, espaces forestiers et bocages et toute zone semi-naturelle peu ou pas éclairée. De même, les sites "pittoresques" (grottes, falaises, etc.) abritant une faune riche et fragile ne devraient pas être éclairés afin d'y préserver les espèces qu'ils hébergent.

A l'échelle des points lumineux, le caractère spatial repose notamment sur la hauteur et la distance entre les candélabres. Ces derniers devraient être choisis en fonction des besoins réels, du type de voie à éclairer (axe structurant par exemple), du type de lampe et des propriétés optiques du réflecteur choisi servant à orienter la lumière vers la zone à éclairer tout en limitant l'éblouissement. Il est également possible d'agir sur la graduation de l'éclairage, notamment en réduisant la densité de points lumineux voire la suppression de certains d'entre eux. Cela suggère une réflexion quant aux besoins réels en fonction des usages et des espaces à éclairer.

D'après une étude récente, il faudrait installer des mâts éclairant précisément au sol avec une hauteur maximale de 4 à 6 mètres selon les situations et conserver une distance de 50 mètres entre chaque candélabre (Sierro 2019).

Le revêtement au sol est également un paramètre à prendre en considération. Par exemple, un revêtement absorbant la lumière évitera de la refléter vers le ciel et de participer à la formation de halo lumineux. Dans la même idée, les surfaces claires reflétant également la lumière, ne devraient pas être éclairées pour limiter les flux réfléchis et non dirigés de lumière.

5.2.2 Dimension temporelle de l'éclairage

La dimension temporelle fait écho d'une part à la durée de l'éclairage la nuit mais également à la période de la nuit où l'éclairage prend effet. Une grande variété

de modes de gestion basés sur l'axe temporel est envisageable pour respecter l'environnement nocturne. Ainsi, il est possible :

- D'instaurer une alternative à l'éclairage fixe, notamment en utilisant des catadioptres sur les limites des voies de circulation ou simplement une lampe portative pour les déplacements courts (lampe frontale par exemple) ;
- D'ajuster l'éclairage fixe. De nos jours, il est possible de moduler la durée d'éclairage, la fréquence, l'intensité ou les horaires d'allumage et d'extinction afin d'adapter l'éclairage en fonction des besoins réels des usagers. A titre d'exemple, l'utilisation des détecteurs de présence avec minuterie permet justement d'éclairer exclusivement quand c'est nécessaire. Autrement, il est possible d'instaurer un système de « diming » avec réduction de l'intensité lumineuse sur certaines périodes de la nuit, et de le coupler à une extinction totale en cœur de nuit.

5.2.3 Zoom sur l'extinction nocturne

De nombreuses communes pratiquent l'extinction nocturne ce qui consiste à couper l'éclairage public en milieu de nuit quand les besoins humains sont quasi nuls. N'existant pas de réglementation obligatoire et spécifique à l'extinction, cette pratique est à l'initiative des communes. Ce n'est pas le cas pour les enseignes publicitaires, les bureaux, les vitrines ou encore les façades des bâtiments résidentiels, lesquels sont dans l'obligation d'éteindre tout éclairage la nuit.

La plateforme NuitFrance a réalisé une carte nationale dynamique sur laquelle apparaissent les communes pratiquant l'extinction nocturne partielle ou totale, ainsi que les horaires d'extinction et d'allumage (Figure 21) (NuitFrance 2019).

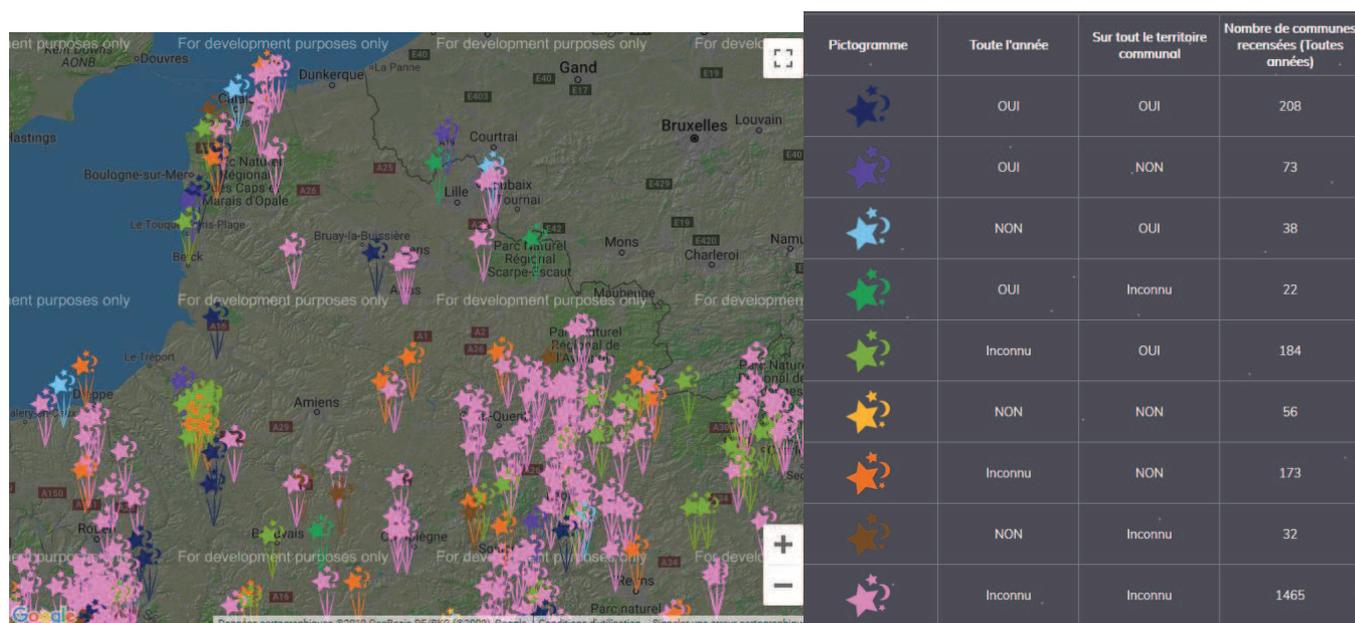


Figure 21 : Carte nationale dynamique des communes pratiquant l'extinction nocturne (source : Nuit France, 2019)

L'extinction peut être :

- Totale ou partielle spatialement. Dans ce cas, l'extinction s'effectue soit sur l'ensemble du territoire, soit exclusivement sur les zones pouvant se passer d'éclairage la nuit ;
- Totale ou partielle temporellement. Il s'agit ici d'éteindre toute l'année, ou alors d'exclure certains jours (par exemple pour des raisons festives, ou certains jours de la semaine).

Cette pratique s'est révélée particulièrement efficace en termes d'économie d'énergie et de coûts, de limitation des lumières intrusives, de mise en valeur de qualité du ciel nocturne et permet également de réduire les impacts sur la biodiversité (NuitFrance 2019).

Il est estimé qu'en éteignant 5 à 7h par nuit, il est possible de réaliser jusqu'à 50% d'économie sur la facture d'électricité.

Cependant, il est à noter qu'une extinction n'a un effet clair et immédiat sur la biodiversité que quand elle s'effectue généralement le plus tôt possible avec un allumage le plus tard possible. En effet, pour les espèces crépusculaires, l'extinction a souvent lieu au croisement avec leur pic d'activité.

A ce propos, une grande majorité d'espèces nocturnes sont actives au crépuscule et à l'aube, laissant le cœur de nuit relativement calme. Cette activité peut être qualifiée de « bimodale ». Ce caractère est d'ailleurs identifiable chez les espèces diurnes qui marquent une phase de « repos » au milieu de la journée après leur activité du matin, pour la reprendre en fin de journée (« NUITFRANCE - Plateforme de connaissances sur la nuit, la biodiversité nocturne et la pollution lumineuse en France », 2017). Finalement, ce sont les deux articulations jour/nuit qui semblent présenter le plus d'activité au niveau de la biodiversité, faune essentiellement. En transposant à ce que l'on constate en termes d'espace (écotones), on peut appeler ces moments charnières des « chronotones » (Figure 22).

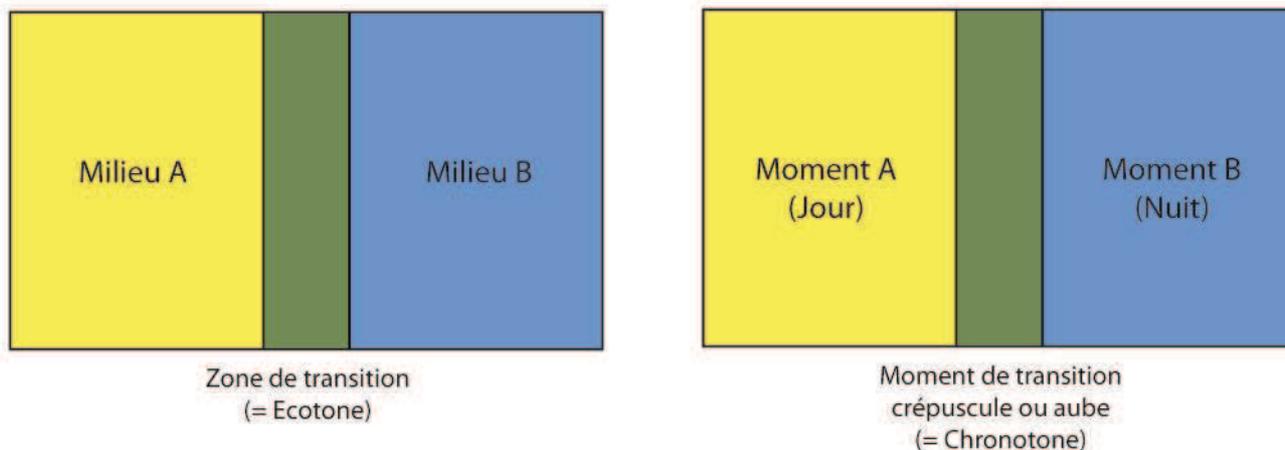


Figure 22 : transposition du contexte d'écotone aux chronotones (source : NuitFrance)

Le parc naturel régional des Grands Causses a réalisé une plaquette relatant les grandes étapes de l'extinction à suivre et démontre les intérêts à éteindre la nuit (Parc Naturel Régional des Grands Causses 2017). La ville d'Aytré a également réalisé un très bon document dans la même idée (Ville d'Aytré 2019). Ce type de plaquette pourrait davantage être déployé à l'échelle nationale pour sensibiliser puis initier d'autres communes à justifier une extinction nocturne.

5.2.3.1 En Hauts-de-France, des modes de gestion de l'éclairage très variables d'une commune à l'autre

Le journal "La Voix du Nord" a publié le 31 juillet 2019 une enquête réalisée auprès de plusieurs communes en Flandres. Vingt-cinq communes ont répondu à leur enquête, dont voici les résultats :

- **Arnèke** éteint ses réverbères entre 23 h et 5 h 30, sauf la nuit du samedi au dimanche sur la place, la rue de Wormhout et la rue de la Poste ;
- **Bailleul** : plusieurs rues voient leur éclairage coupé entre 2 h et 5 h et la ville prévoit de mettre en place des ampoules LED à intensité variable ;
- **Caestre** : les réverbères sont éteints entre 23 h et 5 h, sauf au rond-point et il n'y a aucun éclairage l'été ;
- **Ebblinghem** : n'éclaire pas entre 22 h 45 et 4 h 45 du lundi au vendredi soir, mais l'éclairage fonctionne toute la nuit pendant le week-end ;
- **Estaires** : Les réverbères sont éteints entre 0 h 45 et 4 h 45, à l'exception d'une trentaine en centre-ville ;
- **Flêtre** : coupe également les éclairages la nuit, entre 23 et 5 h 30, avec une coupure totale du 15 juin au 25 août, sauf au carrefour de la rue Nationale et de la rue de Strazeele ;
- **Haverskerque** : pas d'éclairage entre 23 h et 6 h ;

- **Hazebrouck** : devrait mettre en place un éclairage à intensité variable sur certains secteurs ;
- **Lynde** : éclairage coupé entre 23 h et 4 h, à l'exception du bourg ;
- **Merville** : l'allumage des réverbères est relié à l'heure de coucher du soleil, et l'intensité lumineuse est réduite entre 22 h et 6 h ;
- **Neuf-Berquin** : l'éclairage nocturne se fait avec des lampes à LED d'intensité variable ;
- **Oxelaëre** : les anciens candélabres ne fonctionnent pas la nuit, mais les plus récents, équipés de LED, baissent d'intensité progressivement à partir de 21 h et jusqu'à 4 h 30 ;
- **Rubrouck** : à l'exception des réveillons des fêtes de fin d'année, l'éclairage est coupé entre 22 h 30 et 6 h ;
- **Saint-Sylvestre-Cappel** : la puissance des ampoules est réduite de 50 % chaque nuit ;
- **Sainte-Marie-Cappel** : teste à partir du mois d'août et pour six mois l'extinction de l'éclairage de 23 h 30 à 5 h 30, sauf les vendredis et samedis soir, notamment aux points stratégiques de circulation ;
- **Sercus** : éclairage coupé entre 22 h 45 et 6 h 30 ;
- **Thiennes, Steenvoorde, Hardifort, Saint-Jans-Cappel, Renescure, Bavinchove, Morbecque, Terdeghem et Wallon-Cappel** : pas d'extinction nocturne, pour des motifs de sécurité essentiellement ;
- **Zermezele** : l'éclairage est maintenu mais il diminue d'intensité selon l'heure.

Comme nous pouvons le voir, les cas de figure sont très différents d'une commune à l'autre et les motivations sont également très variables mais pour l'essentiel, il s'agit d'une mesure d'économie d'énergie avant tout.

L'entretien avec un des élus de la commune de Roisel, pratiquant l'extinction de 23h à 5h, l'a d'ailleurs confirmé. En effet, ce dernier a mentionné que les frais étaient onéreux que ce soit la nuit ou en termes de maintenance. La commune souhaitait donc faire des économies en mettant en place un arrêté communal relatant leur prise de décision à éteindre la nuit. Il y a eu une première phase « d'essai » de 2-3 mois.

En ce qui concerne les retours de la part des habitants, l'extinction a été bien acceptée. La démarche de communication s'est exclusivement effectuée via le bulletin municipal et par un affichage extérieur à la mairie de la commune. Ils attendent actuellement les retombées financières.

L'article de La Voix du Nord du 31 juillet 2019 mentionne que les communes ayant pratiqué l'extinction nocturne, comme Oxelaëre depuis 7 ans, n'ont pas constaté d'augmentation de la criminalité. De même le maire d'Estaire a indiqué que *"les chiffres de la gendarmerie n'indiquent pas de différence entre Estaires et les communes environnantes qui maintiennent l'éclairage la nuit"*.

5.2.4 Agir sur les températures de couleur

Nous allons détailler ci-dessous l'un des paramètres importants en terme de nuisance pour la biodiversité, à savoir la température de couleur. La relation entre température et longueur d'onde du maximum d'émission permet de définir une relation entre température et couleur, via la correspondance entre longueur d'onde et couleur (Figure 23). La température de couleur, se référant à la notion de corps noir et s'exprimant en Kelvin, caractérise la répartition énergétique du rayonnement au sein des différentes longueurs d'onde constituant le spectre d'émission de la source lumineuse (Magnen 2016). Par exemple, à 5500K, un corps noir émet à peu près la même quantité d'énergie dans toutes les longueurs d'onde. C'est à cette température que les couleurs nous semblent naturelles.

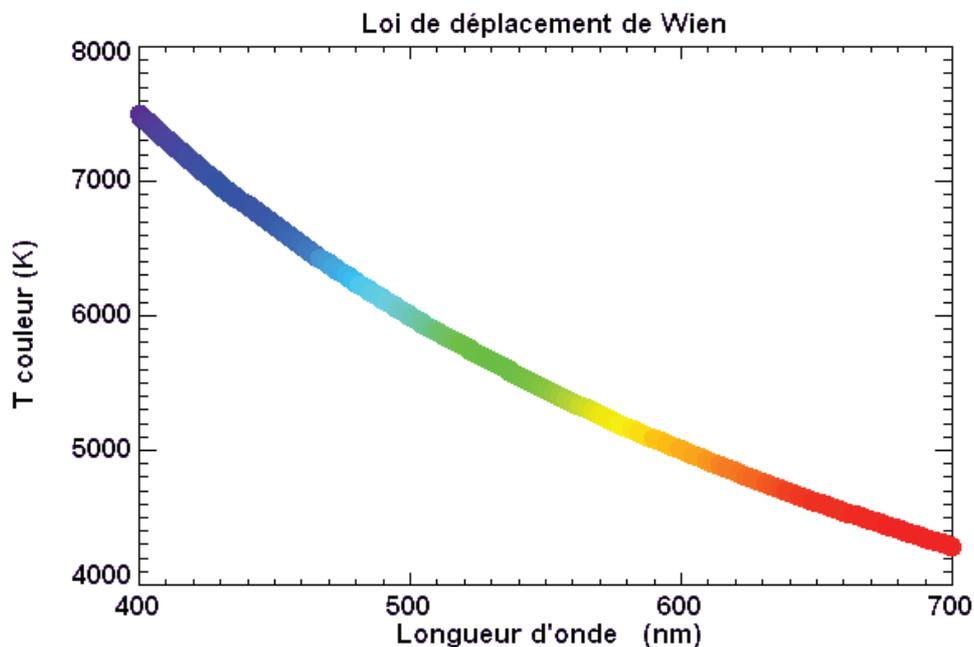


Figure 23 : Lien entre température de corps noir et couleur (source : ASM)

Pour une LED, on parlera de température de couleur corrélée (CCT). Cela s'explique par le fait qu'une LED n'a pas le même spectre qu'un corps noir. A 2700K, la lumière est plutôt jaune, tandis qu'à 5000K elle est plutôt bleutée (figure 24).



Figure 24: Rendu de sources lumineuses de différentes températures de couleur (source : led-fr.net)

A titre d'exemple concernant la couleur de la lumière (en termes de longueurs d'onde), l'étude effectuée par Kamiel Spoelstra et ses collaborateurs en 2017 constitue les premiers résultats disponibles sur l'impact de la lumière sur de nombreuses espèces de chiroptères, et le premier pour la plupart des espèces sur les effets de différents spectres. Généralement, le résultat indique un impact réduit de la lumière rouge par rapport au blanc et au vert (couleurs testées lors de l'expérience). L'utilisation de lumière émettant dans le rouge ou l'utilisation d'une lumière à basse température de couleur, en plus d'autres mesures d'atténuation, est préférable pour éclairer les infrastructures proches des écosystèmes sensibles comme les gîtes des chauves-souris (Spoelstra et al. 2017). L'introduction de l'éclairage LED offre d'autres possibilités, étant donné que le rendu des couleurs peut être amélioré à des intensités d'éclairage plus faibles, ou encore avec une composition spectrale personnalisée (Spoelstra Kamiel et al. 2015). L'utilisation du spectre de la lumière rouge réduit la formation de halos lumineux, les impacts sur le rythme circadien des espèces et semble être moins attractif et moins répulsif. Cependant l'étude de Gaston et ses collaborateurs précise que la lumière rouge peut continuer à perturber les oiseaux migrateurs (Gaston et al. 2014).

L'un des impacts négatifs des nuisances lumineuses concerne la perturbation de la qualité du sommeil due à une modification de la mélatonine, hormone du sommeil. Si la perturbation du sommeil par une baisse de la mélatonine a bien été démontrée chez l'homme, il est également probable que l'effet se rencontre chez la faune sauvage. La figure 25 ci-dessous illustre les effets de certains types de lampes et donc de température de couleurs, sur la production de mélatonine. En sélectionnant des lampes à faible pourcentage dans le bleu, soit un spectre de lumière allant peu dans le bleu et par conséquent présentant une faible température de couleur, et en évitant les lampes blanches comme les lampes à vapeur de mercure ou les LEDs à température de couleur élevée, il est possible de réduire l'impact de la lumière à la fois sur la santé humaine et sur la biodiversité.

LAMPES	PRODUCTION DE LA MÉLATONINE		VOILEMENT DU CIEL ÉTOILÉ	
	Pourcentage d'émission entre 405 et 475 nm	Impact sur la production de la mélatonine	Pourcentage d'émission entre 475 et 530 nm	Impact sur le voilement des étoiles
Sodium basse pression	0 %	Quasi nul	0 %	Quasi nul
LED ambrée 1800 K	0,9 %	Très faible	0,3 %	Très faible
Sodium haute pression	5,2 %	Acceptable	5,0 %	Acceptable
Iodure céramique à faible proportion de longueur d'onde bleue	entre 9 % et 10 %	Moyen	entre 9 % et 10 %	Moyen
LED 2700 K	15,2 %	Important	2,2 %	Faible
Fluorescent	17,2 %	Important	9,5 %	Moyen
Iodure métallique	26,1 %	Très important	7,9 %	Moyen
LED 4000 K	18,3 %	Très important	13,5 %	Important

Figure 25 : Impact de la composante bleue de l'éclairage sur la production de mélatonine et sur le voilement du ciel étoilé (source : (Vauclair, Deverchère, Dark Sky Lab 2018))

Il s'agit d'abord de choisir un luminaire composé de LEDs couleur « orange ambré ». En complément, il est nécessaire de diminuer l'intensité lumineuse, d'espacer les candélabres entre eux, d'installer des mâts éclairant précisément au sol avec une hauteur raisonnable, ou encore d'envisager toute solution innovante et complémentaire lors des travaux d'aménagement, comme par exemple de revêtir la route d'un goudron absorbant la lumière (Sierro 2019).

Nous avons vu dans cette partie les possibilités d'agir sur les nuisances lumineuses par l'intermédiaire des températures de couleur. L'extinction nocturne peut également être une solution pour réduire les impacts sur la biodiversité. Cependant, cette interruption ne résout pas tout. Dans une démarche de rénovation du parc d'éclairage, il convient d'orienter la réflexion sur les impacts globaux que peut entraîner l'éclairage artificiel la nuit.

5.2.5 Agir sur les types de luminaire

Pour les territoires ou zones ne pouvant se permettre de pratiquer l'extinction nocturne, en plus d'agir sur la dimension temporelle et spatiale, il est possible d'agir sur le luminaire en lui-même. En effet, un luminaire rassemble de nombreux paramètres qui, s'ils ne sont pas conformes au respect de l'environnement nocturne, peuvent avoir de lourds impacts sur ce dernier. Grâce aux technologies innovantes et aux études portées sur les impacts causés par la lumière artificielle, on sait désormais sur quelles caractéristiques du luminaire intervenir pour limiter les risques.

Ainsi, il est possible d'agir sur :

- Le choix de la source lumineuse et sa qualité d'éclairage (indice de rendu des couleurs et température de couleur) ;
- Le réflecteur (réflexion des rayons émanant de la source) permettant d'agir sur l'orientation du flux lumineux ;
- L'orientation du luminaire proprement dit ;
- La maintenance, l'efficacité lumineuse et la durée de vie de l'installation ;
- L'abaissement de puissance (« diming ») ;
- L'appareillage (ballast, etc. qui permettent d'ajuster l'intensité, la puissance) ;
- Le nombre de lumières sur un même mât.

Il est à noter qu'il n'existe pas de luminaire « idéal ». Cela repose sur un ensemble de choix à faire selon les besoins réels en éclairage à associer au respect de l'environnement nocturne. A titre d'exemple, la ville de Lille a procédé à une commande « sur-mesure » auprès de constructeurs pour avoir le meilleur luminaire possible en fonction des critères sur la zone associée à éclairer.



2 000 K

Sodium haute pression



2 500 K

Sodium blanc



3 000 K

Figure 26 : exemples de différentes températures de couleur en fonction de la source lumineuse (source : (Syndicat Mixte des Vosges Centrales, 2019))

5.3 Agir sur les paysages nocturnes

Les nuisances lumineuses peuvent altérer la dynamique des déplacements des animaux et la connectivité des paysages. Cela est particulièrement vrai dans les paysages urbains où il est urgent d'intégrer les questions de conservation dans la planification urbaine, notamment par des mesures de réduction de la lumière artificielle (Laforge et al. 2019).

Les études dans le domaine de la biodiversité ont permis de constater des impacts sur les comportements individuels en réponse à la lumière artificielle : mortalité chez certains oiseaux, effet de désorientation... La lumière artificielle perturbe un phénomène en particulier : la mobilité (Sordello 2017c). En effet, par son pouvoir d'attraction ou de répulsion, les paramètres de mobilité de la faune s'en retrouvent influencés comme le but, la fréquence, les horaires. Les études se sont orientées vers l'échelle de l'individu à l'échelle des communautés, des relations

interspécifiques, des écosystèmes et des services qu'ils rendent. Finalement, le sujet est désormais appréhendé à l'échelle paysagère, introduisant notamment la question « la lumière artificielle nocturne est-elle une source de fragmentation ? ».

Il a été démontré que la nuit, la lumière artificielle dégrade la qualité des habitats utilisés par la faune nocturne. Deux effets sont constatés à l'échelle du paysage :

- La fragmentation (infrastructure lumineuse qui sectionne le noir nocturne) ;
- Le mitage du noir de la nuit (isolation des « poches » de noir résiduel).

Il ne faut pas seulement prendre en compte la lumière dans ce contexte, mais également l'ensemble des facteurs responsables de la qualité des habitats naturels. En effet, si ces derniers sont déjà dégradés ou de mauvaise qualité, il faut remettre en question la légitimité à vouloir « obscurcir » le milieu. La fragmentation doit avant tout être abordée dans le but de rétablir l'aspect fonctionnel entre les habitats, et donc prendre en considération tous les paramètres qui le permettront (Sordello 2017a).

Le caractère dynamique de la biodiversité se rapportant notamment à la mobilité des espèces, l'effet barrière peut vite se révéler problématique. En effet, ces mouvements et déplacements permettent d'assurer le brassage génétique, indispensable à la pérennité des populations.

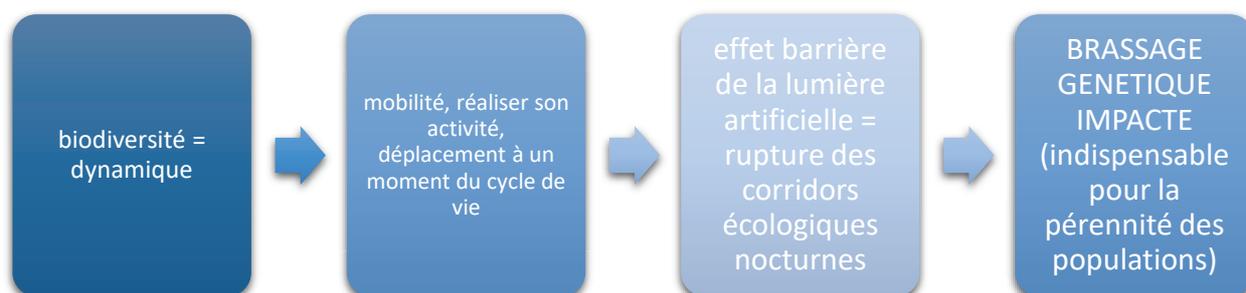


Figure 27 : Logigramme de l'effet barrière de la lumière sur une espèce (source : C. Hemery)

En réponse à la fragmentation des habitats, il est régulièrement prescrit dans la littérature scientifique de se focaliser sur le développement de réseaux écologiques en vue de limiter les impacts sur la biodiversité. Les réseaux écologiques désignent un maillage de milieux naturels permettant de maintenir un niveau satisfaisant de connectivité paysagère, qu'elle soit fonctionnelle ou structurelle. Ce maillage permet aux espèces d'effectuer leur déplacement, mais aussi d'assurer le brassage génétique (Figure 11). Les réseaux écologiques sont devenus un bon outil de planification au service de la biodiversité permettant d'intégrer les enjeux écologiques dans l'aménagement du territoire (Sordello 2017c).

Les causes de la disparition et de la fragmentation des habitats sont diverses et variées et doivent toutes être prises en compte dans le développement de réseaux écologiques. De ce fait, ces derniers constituent une approche pertinente pour lutter contre l'effet causé par la lumière artificielle la nuit. En effet, il a été montré que

l'éclairage la nuit avait le même effet de fragmentation des habitats que les infrastructures physiques. Une route éclairée provoque des effets de répulsion/attraction sur les espèces et peut devenir dès lors un obstacle infranchissable.

5.4 Labels

Le label prestigieux de Réserve Internationale de Ciel Etoilé (RICE) est décerné par l'International Dark-Sky Association (IDA) en vue de valoriser la très bonne qualité du ciel nocturne, les programmes de travaux de rénovation pour préserver cette qualité et l'association étroite du territoire par un programme de sensibilisation et d'information aux enjeux de pollution lumineuse. En France, le Parc National des Hautes Pyrénées (notamment Pic du midi) a été labellisé en 2013 et celui des Cévennes en 2018.

Les échanges effectués avec ces deux parcs ont permis de rendre compte de l'importance de la faculté à pouvoir réunir et sensibiliser les collectivités sur l'impact des nuisances lumineuses sur les paysages et la biodiversité nocturne. En effet, il a été souligné que la motivation des pouvoirs publics était déjà bien engagée et qu'il n'a pas été contraignant d'inclure les collectivités dans le projet de labellisation de Réserve de Internationale de Ciel Etoilé. Etant les principaux acteurs de leurs territoires, la capacité à pouvoir mobiliser les collectivités constitue donc un élément prépondérant et un axe d'approche plus que nécessaire pour engager une véritable prise en compte de la pollution lumineuse sur un territoire.

A ce propos, on peut mentionner la « longueur d'avance » pour ces parcs. En effet, ayant déjà établi une grande protection sur leurs territoires, il est plus « facile » d'engager une réflexion et de mobiliser les collectivités quant à la préservation des continuités écologiques nocturnes puisqu'elles sont déjà sensibilisées à la protection de l'environnement. Par ailleurs, la recherche de partenaires est également facilitée par les travaux effectués en amont, rassemblant un ensemble d'acteurs locaux. Il faut percevoir ces parcs labellisés RICE comme l'aboutissement de nombreuses années de réflexion et d'actions, mais également comme un réel exemple à suivre.

Ces parcs ont devancé les arrêtés ministériels en termes de réglementation et de prescriptions techniques pour faire des choix ambitieux en matière d'éclairage.

Il est à noter que la labellisation permet de favoriser les financements, ce qui peut être intéressant sur le long terme, en vue de la mise en place d'une trame noire (référence au Parc National des Hautes Pyrénées notamment, cf. entretien avec Bruno Rouch le 8 juillet 2019).

A une échelle plus « locale », il existe également le label "Villes et villages étoilés" décerné par l'ANPCEN²⁸ pour valoriser les actions des communes menées sur l'éclairage public (en termes d'extinction nocturne ou de réduction de pollution lumineuse). Le PNR CMO s'est d'ailleurs appuyé sur cette opportunité de labellisation,

²⁸ Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes

notamment pour attirer l'attention des élus sur l'intérêt à réduire les nuisances lumineuses sur leur territoire (6 communes labellisées en 2015). Ce label plus "minime" pourrait constituer un premier axe d'approche auprès des collectivités territoriales...

6 Vers une meilleure appropriation des enjeux de pollution lumineuse en Hauts-de-France

En raison de la forte densité d'urbanisation et de population, la région Hauts-de-France est très particulièrement touchée par la pollution lumineuse. En se basant sur la différence de moyens et de niveaux d'ambition des collectivités territoriales, il pourrait être judicieux de créer un outil à plusieurs entrées pour répondre à leurs attentes en termes de réduction de cette pollution lumineuse. Ainsi, elles pourraient mettre en œuvre le projet d'éclairage qui répond à leurs besoins tout en respectant une certaine sobriété lumineuse.

6.1 Offrir des outils aux collectivités pour s'inscrire dans une démarche de réduction de la pollution lumineuse

L'intégration des variables suivantes pourrait participer à la construction de cet « outil », suivant deux catégories :

Catégorie 1 : « avant-projet »

- La taille des communes : sachant qu'un plan d'éclairage peut s'établir sur un ensemble de communes à la fois, notamment s'il s'agit de petites communes ;
- Les fonds mobilisables ;
- La capacité de structures porteuses de la thématique "réduction des nuisances lumineuses" à mobiliser et sensibiliser les collectivités territoriales et la population ;
- Les études d'impacts ayant déjà été réalisées sur le territoire ;
- Les trames verte et bleue existantes (en vue du croisement avec une éventuelle trame noire) ;
- L'accompagnement et conseils par une structure spécialisée (ex : Cerema, syndicats d'énergie...).

Catégorie 2 : « éclairage »

- L'identification des besoins réels en éclairage ;
- La capacité à réaliser un diagnostic de la pollution lumineuse ;
- L'intégration des obligations réglementaires (ex : intégrer les prescriptions de l'arrêté du 27 décembre 2018).

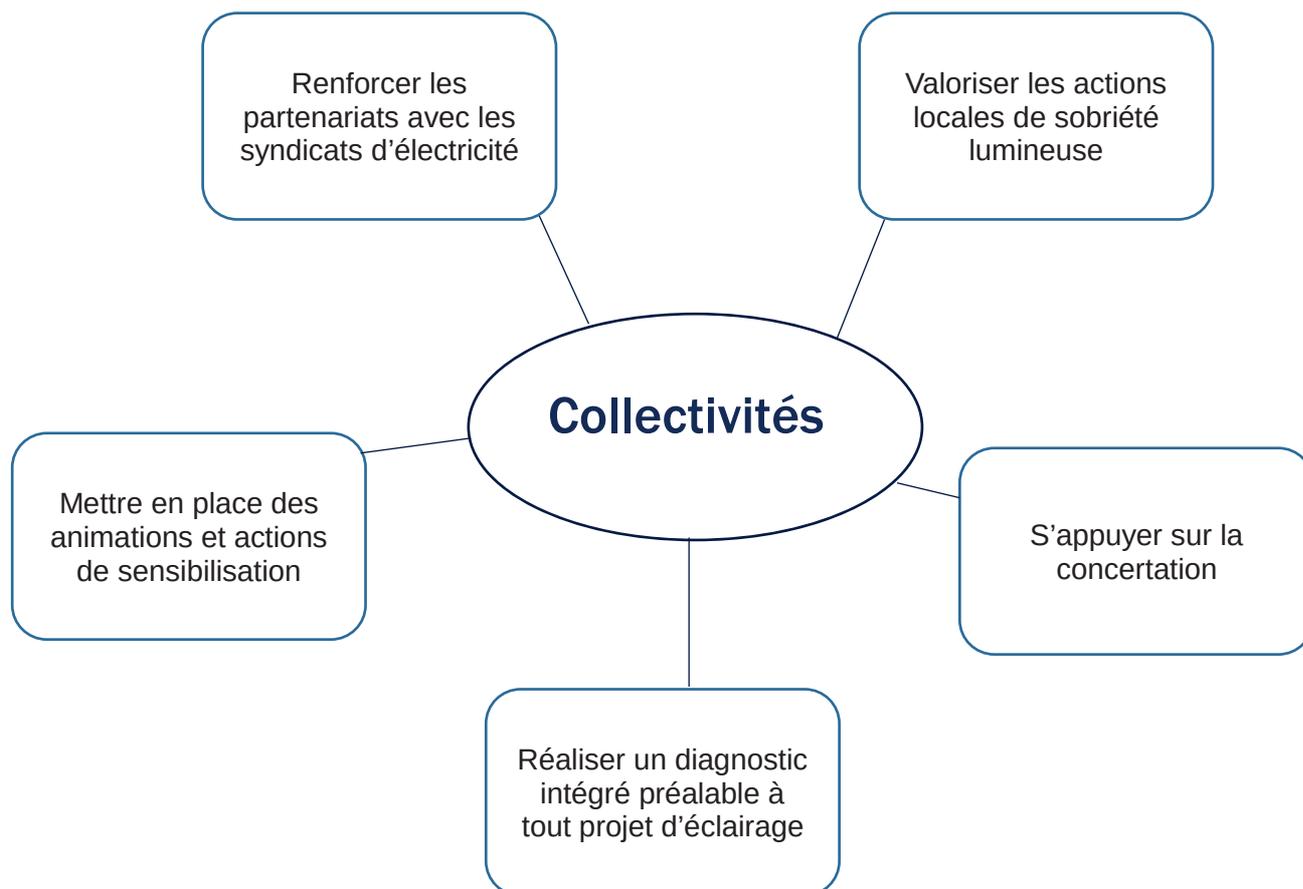


Figure 28 : Synthèse des actions à mettre en œuvre par les collectivités pour réduire les nuisances lumineuses (source : C. Hemery)

6.2 Faire adhérer les collectivités et les habitants à une démarche collective en faveur de la qualité du ciel nocturne

Selon le contexte du territoire, à savoir les enjeux du patrimoine naturel et les acteurs locaux déjà mobilisés en faveur de la préservation de ce patrimoine, l'effort de sensibilisation auprès des collectivités ne sera pas le même. Si l'on prend l'exemple du Parc National des Hautes Pyrénées, il est ressorti que la démarche collaborative et participative n'a pas été difficile à mettre en place pour inciter à protéger la qualité du ciel nocturne et la biodiversité qui en dépend. En effet, les collectivités « membres » du parc étant déjà sensibilisées à la protection et à la conservation des éléments naturels du parc, il suffisait juste d'intégrer ce nouveau niveau de protection.

Le premier objectif s'orientait sur la préservation de la qualité nocturne, par le biais de l'obtention du label RICE, qui a notamment été possible par l'apport de Nicolas Bourgeois (doctorant sur le projet de labellisation), désormais employé au Syndicat d'énergie des Hautes Pyrénées. Sébastien Vauclair (président de l'association Dark Sky Lab et de celle des astronomes) est également intervenu sur le projet. La sensibilisation s'est tenue par un véritable programme reposant sur des animations diverses et variées encadrant les thématiques touchant à la pollution lumineuse : impacts de la lumière artificielle sur la santé humaine, représentations théâtrales sur

le sujet, techniques... Il s'agissait de coupler l'artistique et le technique pour « toucher » le grand public, et plus précisément les élus des communes du parc. Ce sont ainsi 250 communes du parc qui se sont engagées à respecter les règles pour obtenir le label RICE.

Le contexte était donc favorable grâce à l'ensemble des acteurs mobilisés sur le projet, et la labellisation a été obtenue grâce à la démarche collaborative et participative qui a été mise en place. La gouvernance était assurée par 3 acteurs :

- L'observatoire du midi ;
- Le SDE (compétences en maîtrise de l'énergie, apport des solutions techniques) ;
- Le parc national lui-même (amplification de la protection de la zone cœur, zone protégée).

Evidemment, la situation « avantageuse » de ce territoire n'a rien de comparable avec celle de la région Hauts-de-France. Pourtant, on peut retenir la nécessité de connaître son territoire, de faire naître des partenariats, et de consolider les relations dans le jeu d'acteurs avant d'arriver à toute action de sensibilisation sur le sujet des pollutions lumineuses.

7 Outils disponibles et documents de référence

- Chartes de bonne pratique (bibliographie détaillée en fin de document) :
 - Jour de la Nuit ;
 - Association Noe Conservation ;
 - ANPCEN ;
 - Chartes plus locales (exemple de Grenoble).
- Documents à caractère plus « transversal » autour de la pollution lumineuse
 - A la reconquête de la Nuit : très bon document de référence qui aborde une grande diversité de thématiques autour de la pollution lumineuse (réalisation CGEDD) ;
 - Guide de l'éclairage de la RICE du Pic du Midi ;
 - Guide pour une sobriété de l'éclairage public dans les Vosges ;

8 Pistes d'actions à réaliser en 2020 pour mettre en œuvre la réduction des nuisances lumineuses en Hauts-de-France

La pollution lumineuse se présente encore comme étant un sujet émergent. Il s'agit d'un sujet qui concerne de nombreux acteurs. Ces derniers n'encadrent pourtant pas de portage unique, les constats et indicateurs sont partagés, ce qui engendre une dilution des responsabilités et une confusion sur le rôle de chaque acteur. De plus, les données d'éclairage existent mais sont éparpillées entre leurs différents producteurs, privés comme publics, sans cadre commun de format d'échange de ces données. Aujourd'hui, les données et l'information de manière plus générale sont davantage relayées par les associations environnementales et les AODE. Il y a un énorme besoin de pédagogie sur la nécessité de préserver un environnement nocturne. Le rôle de l'Etat et de ses établissements publics est prépondérant pour impulser une dynamique qui doit être relayée ensuite par les acteurs locaux.

Le Cerema a donc proposé de participer à cette démarche en tant que plus-value, surtout concernant le décryptage des arrêtés ministériels récents, d'apporter son expertise technique, notamment en s'appuyant sur les études existantes sur le sujet.

En effet, dans un contexte de présentation des enjeux de pollution lumineuse aux élus et au grand public, il serait opportun de pouvoir s'appuyer sur des données chiffrées pour sensibiliser davantage. A titre d'exemple, le volet "acceptation sociale" constitue une thématique méritant d'avoir des retours d'expérience concrets. En effet, l'acceptation semble être un premier axe d'approche déterminant, notamment pour convaincre sur le fait qu'une absence de lumière cause un **sentiment** d'insécurité et n'est pas liée objectivement à un manque de sécurité effectif. L'appui sur des données chiffrées provenant d'études concrètes est donc essentiel au processus "d'éclairer juste", là et quand cela est nécessaire. Il existe ici un enjeu important de changer les mentalités quant aux idées reçues, lesquelles poussent souvent au sur-éclairage...

De façon synthétique, les principaux points à développer dans les mois et années à venir sont présentés dans les paragraphes suivants.

8.1 Agir auprès des AODE

De façon prioritaire, une action de sensibilisation et de formation auprès des Syndicats et Fédérations d'énergie s'avère être le levier le plus efficace pour faire connaître et prendre en compte les enjeux liés à la biodiversité dans toutes les démarches de rénovation ou d'installation d'éclairage public. De façon concrète, des interventions sur le volet biodiversité lors des réunions d'informations organisées par ces AODE à destination des élus locaux seraient pertinentes. Des plaquettes d'information et des courts diaporamas à insérer dans leurs présentations pourraient leur être fournis également.

8.2 Agir auprès des organismes de conseil auprès des collectivités

Il s'agit ici d'intervenir essentiellement à l'échelle de la planification communale, tout particulièrement dans les documents d'urbanisme tels que SCoT et Plans Locaux d'Urbanisme. Le code de l'urbanisme prévoit en effet la prise en compte des continuités écologiques et donc de la trame noire.

Les Parcs Naturels Régionaux, agences d'urbanismes et bureaux d'études spécialisés en urbanisme sont un exemple des cibles privilégiées à atteindre pour fournir toute information utile à la réduction des nuisances lumineuses.

8.3 Agir auprès des services instructeurs de l'Etat et des collectivités territoriales

L'objectif est double ici puisqu'il s'agit de cibler à la fois les services instructeurs des documents d'urbanisme et des projets d'aménagements, plans et programmes.

Les services instructeurs des documents d'urbanisme, que ce soit au niveau des services de l'Etat (DDT(M)) comme des collectivités doivent disposer de tous les éléments de connaissance pour une bonne prise en compte des trames noires dans les documents d'urbanisme.

Les services instructeurs des projets d'aménagement soumis à l'approbation de l'autorité administrative, à savoir tout projet pour lequel un diagnostic est nécessaire (par exemple : étude d'impacts, autorisation environnementale unique, déclaration loi sur l'eau, défrichement, dérogation espèces protégées, déclaration ICPE, permis d'aménager...) doivent être formés pour une bonne prise en compte des enjeux liés à la biodiversité nocturne. Cela concerne également les services instructeurs des plans, schémas, programmes et autres documents de planification.

8.4 Mettre en place un plan de communication d'envergure

A ce jour, le manque d'information des décideurs sur les enjeux de biodiversité nocturne reste le principal frein à une réduction des nuisances lumineuses.

Les actions à réaliser pour une meilleure diffusion des informations sont les suivantes :

- Réaliser des plaquettes d'information sur la nécessité de réduire les nuisances lumineuses, à l'image de celle réalisée par le Museum de Genève :
<http://www.astro-ge.net/wordpress/wp-content/uploads/2019/03/190321-FLYER-LUMIERE-V18.pdf> ;
- Axer la communication sur l'acceptation sociale (voir ci-dessous l'exemple de la commune d'Aytré pour lutter contre les idées reçues, notamment l'insécurité) ;
- Apprendre à éclairer au moment où en a VRAIMENT besoin (lampe torche, interrupteurs etc..) ;
- Inciter les communes à adopter les labels ciel étoilé ;
- Organiser une conférence de l'éclairage et biodiversité portée par la DREAL assistée par le Cerema (conférence Cotita à prévoir par le Cerema sur le sujet trame noire) ;
- Inclure le volet patrimoine culturel du ciel nocturne (étoiles, ambiances nocturnes, art, littérature...) ;
- Inclure le volet santé humaine (longueur d'onde dans le bleu des LED qui perturbe la mélatonine) ;
- Diffuser les documents les plus pertinents sur le sujet, notamment les fiches Cerema à paraître ;
- Faire une communication ciblée vers les privés, notamment les particuliers par l'intermédiaire par exemple des grandes surfaces de bricolage qui fournissent des solutions d'éclairage des extérieurs des bâtiments résidentiels.
- Communiquer en partenariat avec l'AFE (Association Française de l'Eclairage) et l'AITF (Association des Ingénieurs Territoriaux de France) ainsi qu'avec les acteurs locaux moteurs dans ce domaine (villes de Douai et de Lille, PNR CMO...) ;
- Informer, mais judicieusement (!) les exemples sont nombreux montrant que là où l'extinction a été faite sans concertation, cela s'est très bien passé... ;
- Sensibiliser les décideurs sur l'économie d'énergie réalisée en passant d'un éclairage traditionnel à sodium haute pression à un éclairage LED, de préférence ambré.

A titre d'exemple sur le volet communication / acceptation sociale, la ville d'Aytré (Charente Maritime) a réalisé une très bonne plaquette à ce sujet, qui pourrait servir d'inspiration à la construction d'une plaquette s'appuyant de plus sur des données chiffrées :



Figure 29 : Plaquette de sensibilisation sur les nuisances lumineuses de la ville d'Aytré (Charente Maritime)

8.5 Acquérir des connaissances sur la sensibilité des espèces nocturnes sensibles à la pollution lumineuse en Hauts-de-France

Le sujet de la sensibilité de la faune et la flore sensible à la pollution lumineuse est encore un sujet émergent pour lequel un effort considérable d'acquisition de connaissances est nécessaire. Il s'agit ici de recueillir les informations issues de la littérature grise et blanche pour en faire une synthèse accessible à tout acteur concerné par les nuisances lumineuses. Ceci venant en complément des informations déjà apportées au paragraphe 2.2

8.6 Faire une synthèse des sources de financements disponibles

Comme la présente étude l'a démontré, les sources de financements possibles pour mettre en place des projets ou aménagements favorables à la réduction des nuisances lumineuses sont très importantes (Feder, Etat, Département, etc.). Un travail spécifique sur ce sujet permettrait aux collectivités territoriales de solliciter la source de financement la plus opportune en fonction de leurs projets.

8.7 Synthétiser et collecter les retours d'expériences

Il s'agit d'un objectif qui dépasse les Hauts-de-France mais qui répond à un besoin de bon nombre de collectivités. Il s'agit de recueillir les expériences de communes qui ont déjà mis en place des mesures favorables à la réduction des nuisances lumineuses en présentant les démarches, les moyens utilisés, points forts et points faibles afin d'aider les collectivités à agir de façon pertinente en évitant les erreurs manifestes.

9 Bilan des personnes contactées

Référent	Compétence (si connue)	Structure	Date	Contexte de la rencontre
Bénédicte LEFEBVRE	Chargée de mission Biodiversité	DREAL	7 juin	Réunion de cadrage pour le stage
Romain SORDELLO	Chef de projet trame verte et bleue, pollution lumineuse, revues systématiques	MNHN, UMS PatriNat	20 juin	Conférence : « comment mettre en œuvre une trame noire ? »
Bruno ROUCH	Directeur du syndicat de l'énergie des Hautes Pyrénées	SDE65	8 juillet	Entretien téléphonique : élaboration de la trame noire sur le parc national des Hautes Pyrénées + label RICE
Yohan TISON	Parcs et jardins de la ville de Lille, écologue	Mairie de Lille	15 juillet	Entretien sur l'éclairage public de la ville de Lille
Nicolas DELNATTE	Adjoint service éclairage de la ville de Lille	Mairie de Lille	15 juillet 18 juillet	Entretien sur l'éclairage public de la ville de Lille Entretien téléphonique : point sur les modes d'éclairage existants
Paul VERNY	Responsable de la mission « éclairage, maîtrise de l'énergie et des nuisances lumineuses »	Cerema	15 juillet 18 juillet 31 juillet	Entretien sur l'éclairage public de la ville de Lille Entretien téléphonique : point sur les modes d'éclairage existants
Roger COUILLET	Responsable éclairage extérieur ville de Douai et président de l'AFE HdF-Ardennes	AFE et ville de Douai		Entretien téléphonique : arrêté ministériel du 27 décembre 2018, trame noire de Douai, modes d'éclairage
Delphine PANOSSIAN		PNR Caps et Marais d'Opale	6 août	Entretien téléphonique : situation du parc sur la prise en compte des nuisances lumineuses
Christophe NGUYEN	Responsable du sujet éclairage	FDE80	12 septembre	Réunion : échanges sur le rôle du syndicat, éventuel apport du Cerema
Florent MORTEL	Direction des Opérations – Chargé d'affaires Eclairage public	FDE80	12 septembre	Réunion : échanges sur le rôle du syndicat, éventuel apport du Cerema

Natacha LECERF-NOEL	directrice	SIECF (Syndicat Intercommunal d'Energie des Communes de Flandre)	15 novembre 2019	Réunion : échanges sur le rôle du syndicat, éventuel apport du Cerema
Thomas BOULANGER	technicien chargé de l'éclairage public	SIECF	15 novembre 2019	Réunion : échanges sur le rôle du syndicat, éventuel apport du Cerema
Yves MOLINER DE	Directeur	USEDA (Union des Secteurs d'Energie du Département de l'Aisne)	27 novembre 2019	Réunion : échanges sur le rôle de l'USEDA, éventuel apport du Cerema

10 Définitions

10.1 Lux (lx)

Unité d'éclairement (symbole lx) équivalant à celui d'une surface qui reçoit perpendiculairement et d'une manière uniforme un flux lumineux de 1 lumen par mètre carré. L'unité lux est définie en fonction de la vision humaine et la transposer à la faune ayant des différentes sensibilités spectrales peut être problématique... (Christian C Voigt et al. 2018).

10.2 ULOR

« Upward Light Output Ratio ». Il indique la quantité de lumière émise vers le ciel, au-delà d'un angle de 90°. On parle de ULR (Upward Light Ratio) pour les LEDs.

10.3 Longueur d'onde (nm)

La longueur d'onde fait référence à une grandeur physique et s'exprime en nanomètre (nm). En dirigeant un faisceau de lumière « blanche » sur un prisme, celle-ci est décomposée en différentes couleurs visibles par l'œil humain. Ce spectre correspond à une petite partie de l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil et elles se situent entre 400 et 700 nanomètres environ. Même si le spectre est continu (pas de frontière entre une couleur et la suivante), chaque couleur peut être caractérisée par sa longueur d'onde associée. Le tableau ci-dessous illustre les longueurs d'onde associées à une couleur dans le spectre visible.

Longueur d'onde (nm)	Champ chromatique	Couleur
380 — 449	Violet	445
449 — 466	Violet-bleu	455
466 — 478	Bleu-violet	470
478 — 483	Bleu	480
483 — 490	Bleu-vert	485
490 — 510	Vert-bleu	500
510 — 541	Vert	525
541 — 573	Vert-jaune	555
573 — 575	Jaune-vert	574
575 — 579	Jaune	577
579 — 584	Jaune-orangé	582
584 — 588	Orangé-jaune	586
588 — 593	Orangé	590
593 — 605	Orangé-rouge	600
605 — 622	Rouge-orangé	615
622 — 700	Rouge	650

Figure 30: Tableau représentant le "spectre visible «par l'œil humain avec la couleur associée aux longueurs d'onde (source : (Invitrolab.fr))

10.4 Ballast électronique

Dispositif associé à l'alimentation des lampes à décharge, permettant de réduire le courant dans un circuit électrique et ainsi d'augmenter le rendement énergétique et lumineux. Il est souvent associé à des systèmes de gestion et de gradation de la lumière.

10.5 LED

Light-emitted-diode. Diode électroluminescente.

10.6 Principales grandeurs physiques de l'éclairage

10.6.1 Luminance (L)

S'exprime en candela par mètre carré (cd/m^2). Quantité de lumière émise par une surface lumineuse ou un objet, par exemple la luminance d'un écran d'ordinateur : environ $200 \text{ cd}/\text{m}^2$.

10.6.2 Eclairement (E)

S'exprime en lux (lx). C'est la quantité de lumière émise vers le sol et donc la lumière reçue sur une surface. Exemple : 500 lux sur un bureau.

10.6.3 Température de couleur (T)

S'exprime en Kelvin. La température de couleur permet de rendre compte de la couleur visible émise par une lampe. Elle caractérise la répartition énergétique du rayonnement au sein des différentes longueurs d'onde constituant le spectre d'émission de la source lumineuse. La température de couleur fait référence à la notion de corps noir. Par exemple à 5500 K, un corps noir émet à peu près la même quantité d'énergie dans toutes les longueurs d'onde (c'est à cette température que toutes les couleurs nous semblent naturelles). Plus la température de couleur s'élève et plus la proportion de bleu dans la lumière sera importante.

10.6.4 Indice de rendu de couleur (IRC)

Sans unité. Capacité d'une lumière à rendre compte de la couleur des objets de manière fidèle. Une lumière très fidèle aura un IRC de 100, une lumière de qualité moyenne un IRC inférieur à 80.

10.6.5 Efficacité lumineuse

S'exprime en lumen par watt (lm/W). Définit le rendement énergétique d'une source de lumière.

10.6.6 Lien entre température de couleur et longueur d'onde

Il faut être vigilant quand on parle de « couleur » dans le domaine de l'éclairage. En effet, il existe la longueur d'onde (en nanomètre (nm)) se référant à une grandeur physique qui caractérise la distance la plus courte entre deux points identiques du signal lumineux. Pour distinguer les lampes, on parle souvent de température de couleur. Pour sa part, elle renvoie à l'ensemble des longueurs d'onde qui compose la source de lumière et elle s'exprime en Kelvin (K). On parlera de pourcentage d'émission des couleurs bleutées (comprises entre 410-530nm) par exemple. Il existe cependant une relation entre température et longueur d'onde du maximum d'émission. La loi de déplacement de Wien permet d'établir ce lien et est représentée dans la figure ci-dessous.

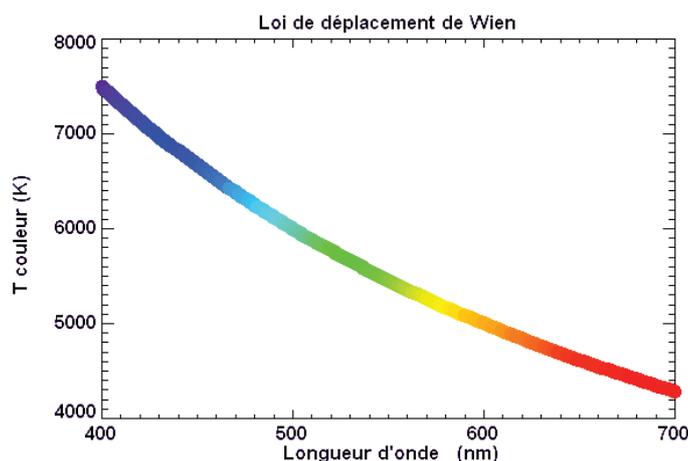


Figure 31:Lien entre température de couleur (K) et longueurs d'onde (nm) (source : media4.obspm.fr)

11 Documents de référence

11.1 Principales références thématiques

11.1.1 Trame noire

Garnier, H., Parc Naturel Régional des Causses du Quercy (2012). Comment prendre en compte la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques ?

Parc National des Pyrénées (2018). Comment élaborer une trame sombre ? L'expérience du Parc National des Pyrénées et du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises.

Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale (2019). Guide technique : étude de la fonctionnalité de la trame verte et bleue du parc naturel des caps et marais d'opale.

SimOïko (2018). Etude pour la définition et le diagnostic de la Trame Noire.

Sordello, R. (2017). Pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques.

Sordello, R. et al. (2018). Construire des indicateurs nationaux sur la pollution lumineuse.

Valet, N. (2018). Mise en place d'une trame sombre. Exemple de la ville de Douai. [Présentation]

11.1.2 Vers un éclairage "juste"

Pic du Midi et al. (2019). Guide de l'éclairage de la RICE du Pic du Midi. Critères de conformité.

Syndicat Mixte des Vosges Centrales (s.d.). Mettre en lumière l'Univers la Nuit. Guide pour une sobriété de l'éclairage public dans Les Vosges Centrales.

11.1.3 Sujets transversaux

Auricoste, L. et al. (2018). A la reconquête de la nuit. La pollution lumineuse : état des lieux et propositions.

11.1.4 Chartes de bonne pratique

ANPCEN (s.d.). Recommandations pour un éclairage assurant, sécurité, confort visuel, économies et protection de l'environnement.

Le Jour de la Nuit (2018). Kit pratique pour rallumer les étoiles. Le Jour de la Nuit, 10ème édition.

Noé Conservation (2013). Charte de l'Eclairage durable. Guide d'accompagnement pour les collectivités locales.

Noé Conservation (2013). Engagements charte éclairage durable. Etape 1, 2 et 3.

Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature (2018). Charte en faveur d'un éclairage raisonné.

12 Bibliographie

- ARTHUR, Laurent et LEMAIRE, Michèle, 2015. *Les chauves-souris de Fance, Belgique, Luxembourg & Suisse*.
- ARTHUR, Laurent et LEMAIRE, Michèle, 2015. *Les chauves-souris de Fance, Belgique, Luxembourg & Suisse*.
- AURICOSTE, Isabelle, LANDEL, Jean-François et SIMONÉ, Maryline, 2018. La pollution lumineuse : état des lieux et propositions. . 2018. pp. 110.
- AZAM, Clémentine, JULIEN, Jean-François, PAUWELS, Julie et KERBIRIOU, Christian, 2018. Effectivité de la Trame verte et bleue au regard de la Trame noire : comment limiter l'impact de l'éclairage artificiel nocturne sur les Chauves-souris ? . 2018. pp. 4.
- BERTIN, Sylvain et PAQUETTE, Sylvain, 2015. Apprendre à regarder la ville dans l'obscurité : les « entre-deux » du paysage urbain nocturne. *Environnement Urbain*. 2015. Vol. 9, pp. 1036218ar. DOI 10.7202/1036218ar.
- BOLDOGH, Sándor, DOBROSI, Déves et SAMU, Péter, 2007. The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. [en ligne]. décembre 2007. [Consulté le 2 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ingentaconnect.com/content/miiz/actac/2007/00000009/00000002/art00019>
- BRUDERER, B, PETER, D et STEURI, T, 1999. Effect of radar and light on birds. . 1999. pp. 8.
- CEREMA, 2016. *Chiroptères et infrastructures de transport*. [en ligne]. 2016. [Consulté le 22 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/Resources/Chiro%20et%20infrastructures%20de%20transport.pdf>
- CHALLÉAT, Samuel, 2014. La pollution lumineuse: passer de la définition d'un problème à sa prise en compte technique. . 2014. pp. 15.
- CLICNAT, 2018. Liste rouge des espèces picardes menacées. [en ligne]. 2018. [Consulté le 19 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.clicnat.fr/?page=rl>
- DAVIES, Thomas W., BENNIE, Jonathan et GASTON, Kevin J., 2012. Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters*. 23 octobre 2012. Vol. 8, n° 5, pp. 764-767. DOI 10.1098/rsbl.2012.0216.
- DOWNS, N. C., BEATON, V., GUEST, J., POLANSKI, J., ROBINSON, S. L. et RACEY, P. A., 2003. The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. *Biological Conservation*. 1 juin 2003. Vol. 111, n° 2, pp. 247-252. DOI 10.1016/S0006-3207(02)00298-7.

FALCHI, Fabio, CINZANO, Pierantonio, ELVIDGE, Christopher D., KEITH, David M. et HAIM, Abraham, 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*. 1 octobre 2011. Vol. 92, n° 10, pp. 2714-2722. DOI 10.1016/j.jenvman.2011.06.029.

GARNIER, Héroïse, 2012. *Comment prendre en compte la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques ?* [en ligne]. [Consulté le 10 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.parcs-naturels-regionaux.fr/sites/federationpnr/files/document/centre_de_ressources/archive_avant_2016/142533/M/MemoireFinal.TVBPollLum.HGranier.2012_DIFF.pdf

GASTON, Kevin J., DUFFY, James P., GASTON, Sian, BENNIE, Jonathan et DAVIES, Thomas W., 2014. Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences. *Oecologia*. décembre 2014. Vol. 176, n° 4, pp. 917-931. DOI 10.1007/s00442-014-3088-2.

GILLEBERT, Karl, WESTRELIN, Guy, LESEINE, Michaël et MOUGEOT, Denis, 2016. La Liste rouge des espèces menacées dans le Nord – Pas-de-Calais. . 2016. pp. 16.

HÖLKER, Franz, WOLTER, Christian, PERKIN, Elizabeth K. et TOCKNER, Klement, 2010. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution*. décembre 2010. Vol. 25, n° 12, pp. 681-682. DOI 10.1016/j.tree.2010.09.007.

invitrolab.fr. La culture in vitro de plantes accessible à tous - L'éclairage de la salle de culture, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 22 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://invitrolab.fr/articles.php?lng=fr&pg=210&tconfig=0>

JONES, G. et MORTON, M., 1992. Radio-tracking studies on habitat use by Greater Horseshoe Bats *Rhinolophus ferrumequinum*. *4th European Conference on Wildlife Telemetry* [en ligne]. 1992. [Consulté le 17 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : [https://research-information.bris.ac.uk/en/publications/radiotracking-studies-on-habitat-use-by-greater-horseshoe-bats-rhinolophus-ferrumequinum\(4d8cf728-58db-4d06-9e69-4d151edb25c8\)/export.html](https://research-information.bris.ac.uk/en/publications/radiotracking-studies-on-habitat-use-by-greater-horseshoe-bats-rhinolophus-ferrumequinum(4d8cf728-58db-4d06-9e69-4d151edb25c8)/export.html)

KNOP, Eva, ZOLLER, Leana, RYSER, Remo, GERPE, Christopher, HÖRLER, Maurin et FONTAINE, Colin, 2017. Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*. août 2017. Vol. 548, n° 7666, pp. 206-209. DOI 10.1038/nature23288.

KUIJPER, Dries PJ, SCHUT, Jasper, VAN DULLEMEN, Diederik, TOORMAN, Hanne, GOOSSENS, Noreen, OUWEHAND, Janne et LIMPENS, HJGA, 2008. Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Lutra*. 2008. Vol. 51, n° 1, pp. 37.

LAFORGE, Alexis, FONDERFLICK, Jocelyn et BESNARD, Aurélien, 2018. Projet « Trame noire » : connectivité écologique nocturne et Chiroptères. . 2018. pp. 7.

LAFORGE, Alexis, PAUWELS, Julie, FAURE, Baptiste, BAS, Yves, KERBIRIOU, Christian, FONDERFLICK, Jocelyn et BESNARD, Aurélien, 2019. Reducing light pollution improves connectivity for bats in urban landscapes. *Landscape Ecology*. avril 2019. Vol. 34, n° 4, pp. 793-809. DOI 10.1007/s10980-019-00803-0.

LIDLAW, G. W. J. et FENTON, M. B., 1971. Control of Nursery Colony Populations of Bats by Artificial Light. *The Journal of Wildlife Management*. 1971. Vol. 35, n° 4, pp. 843-846. DOI 10.2307/3799798. JSTOR

Listes de menace et de rareté de la faune en Picardie : actualisation 2016, 2017. *Picardie Nature* [en ligne]. [Consulté le 6 août 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.picardie-nature.org/etude-de-la-faune-sauvage/les-groupes-de-faune-etudes/les-evenements-et-etudes-multi/article/listes-de-menace-et-de-rarete-de>

LONGCORE, Travis et RICH, Catherine, 2004. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004. Vol. 2, n° 4, pp. 191-198. DOI 10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2.

LPO PAS-DE-CALAIS, 2018. Rapaces Nocturnes. [en ligne]. 2018. [Consulté le 7 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://pas-de-calais.lpo.fr/enquetes/rapaces-nocturnes>

MACGREGOR, Callum J., POCOCK, Michael J. O., FOX, Richard et EVANS, Darren M., 2019a. Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant. *Ecosphere*. 2019. Vol. 10, n° 1, pp. e02550. DOI 10.1002/ecs2.2550.

MACGREGOR, Callum J., POCOCK, Michael J. O., FOX, Richard et EVANS, Darren M., 2019b. Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant. *Ecosphere*. 2019. Vol. 10, n° 1, pp. e02550. DOI 10.1002/ecs2.2550.

MAGNEN, Jany, 2016. Température et couleur et I.R.C. *Eclairage et design LED au Maroc* [en ligne]. 2016. [Consulté le 7 août 2019]. Disponible à l'adresse : http://eclairage.led.over-blog.com/pages/Temperature_et_couleur_et_IRC-1537110.html

MÉTROPOLE NICE CÔTE D'AZUR, 2016. *Secteurs à enjeux chiroptères et éclairages publics. Porté à connaissance*. [en ligne]. [Consulté le 18 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.nicecotedazur.org/uploads/media_items/m%C3%A9tropole-nice-c%C3%B4te-d-azur-secteurs-%C3%A0-enjeux-chiropt%C3%A8res-et-%C3%A9clairages-publics-port%C3%A9-%C3%A0-connaissance-2016-groupe-chiropt%C3%A8res-de-provence.original.pdf

MUSTERS, C J M, SNELDER, D J et VOS, P, 2009a. The effects of coloured light on nature. . 2009. pp. 43.

MUSTERS, C J M, SNELDER, D J et VOS, P, 2009b. The effects of coloured light on nature. . 2009. pp. 43.

NUITFRANCE - Plateforme de connaissances sur la nuit, la biodiversité nocturne et la pollution lumineuse en France, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 28 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.nuitfrance.fr/?page=nuit-naturelle&partie=biodiversite-nocturne>

NUITFRANCE, 2019. Carte nationale dynamique. Recensement des communes françaises pratiquant l'extinction nocturne. *NUITFRANCE* [en ligne]. 2019.

[Consulté le 19 août 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.nuitfrance.fr/?page=extinctions>

OBSERVATOIRE DE LA BIODIVERSITÉ DES HAUTS-DE-FRANCE, 2010. *Les chauves-souris du Nord-Pas-de-Calais* [en ligne]. 2010. [Consulté le 15 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.observatoire-biodiversite-hdf.fr/sites/default/files/documents/medias/fiches-indicateurs/chauves-souris_npdc_2010.pdf

PARC NATIONAL DES PYRÉNÉES, 2018. Comment élaborer une trame sombre ? L'expérience du Parc National des Pyrénées et du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises. . 2018.

PARC NATUREL RÉGIONAL DES CAPS ET MARAIS D'OPALE, 2019. *Guide technique. Etude de la fonctionnalité de la trame verte et bleue du parc naturel régional des caps et marais d'opale* [en ligne]. 2019. [Consulté le 20 août 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.parc-opale.fr/scripts/pdf-js/web/viewer.html?file=/components/com_booklibrary/ebooks/27E8B7D6-63A6-2372-04D5-279167F2F6D0_guide_trame_verte_et_bleue_BD.pdf

PARC NATUREL RÉGIONAL DES GRANDS CAUSSES, 2017. *Les grandes étapes de l'extinction* [en ligne]. 2017. [Consulté le 19 août 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.parc-grands-causses.fr/sites/all/files/upload/eclairage_public_doc_web.pdf

PIC DU MIDI, SDE65, PARC NATIONAL DES PYRÉNÉES et SCIENCES EN BIGORRE, 2019. Guide de l'éclairage de la RICE du Pic du Midi. Critères de conformité. . 2019. pp. 14.

Plan National d'Actions 2016-2025. Chiroptères., 2017. [en ligne]. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.reseau-cen.org/sites/default/files/fichiers/plaquette_pnach_2016-2025_def_v5.pdf

PORT-CROS PARC NATIONAL et CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL MÉDITERRANÉEN, 2017. *Protocole d'écoute des chiroptères avant/après réduction des pollutions lumineuses sur le village de Porquerolles. Résultats de la première année de suivi.* 2017.

RYDELL, Jens, ENTWISTLE, Abigail et RACEY, Paul A., 1996. Timing of Foraging Flights of Three Species of Bats in Relation to Insect Activity and Predation Risk. *Oikos*. 1996. Vol. 76, n° 2, pp. 243-252. DOI 10.2307/3546196. JSTOR

SHIRLEY, M. D. F., ARMITAGE, V. L., BARDEN, T. L., GOUGH, M., LURZ, P. W. W., OATWAY, D. E., SOUTH, A. B. et RUSHTON, S. P., 2001. Assessing the impact of a music festival on the emergence behaviour of a breeding colony of Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*). *Journal of Zoology*. juillet 2001. Vol. 254, n° 3, pp. 367-373. DOI 10.1017/S0952836901000863.

SIERRO, Antoine, 2019. *La lumière nuit ! La nature face à la pollution lumineuse.* janvier 2019.

SIMOÏKO, 2018. *Etude pour la définition et le diagnostic de la Trame Noire* [en ligne]. 2018. [Consulté le 21 août 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.simoiko.fr/docs/news/usecase/fiches_trame%20noire_PNRCMO.pdf

SORDELLO, Romain, AZAM, Clémentine, BAS, Yves, BILLON, Lucille, CHALLEAT, Samuel, KERBIRIOU, Christian, VAUCLAIR, Sébastien et VERNY, Paul, 2018. Construire des indicateurs nationaux sur la pollution lumineuse. . 2018. pp. 48.

SORDELLO, Romain, JUPILLE, Olivier, VAUCLAIR, Sébastien, SALMON-LEGAGNEUR, Léa, DEUTSCH, Éloïse et FAURE, Baptiste, 2018. Trame noire : un sujet qui « monte » dans les territoires. [en ligne]. 2018. [Consulté le 18 juillet 2019]. DOI 10.14758/set-revue.2018.25.15. Disponible à l'adresse : http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles/pdf/set-revue-25-trame-noire-pollution_lumineuse-territoires_1.pdf

SORDELLO, Romain, 2013. *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) Mammifères, Chiroptères, Rhinolophidés. . 2013. pp. 18.

SORDELLO, Romain, 2017a. Les conséquences de la lumière artificielle nocturne sur les déplacements de la faune et la fragmentation des habitats : une revue. . 2017. pp. 16.

SORDELLO, Romain, 2017b. Exploitation de la synthèse bibliographique de Musters et al. (2009). . 2017. pp. 18.

SORDELLO, Romain, 2017c. Pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques. *VertigO* [en ligne]. 15 décembre 2017. N° Volume 17 numéro 3. [Consulté le 29 mai 2019]. DOI 10.4000/vertigo.18730. Disponible à l'adresse : <http://journals.openedition.org/vertigo/18730>

SORDELLO, Romain, 2017d. Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ? *Territoire en mouvement* [en ligne]. 10 novembre 2017. N° 35. [Consulté le 29 mai 2019]. DOI 10.4000/tem.4381. Disponible à l'adresse : <http://journals.openedition.org/tem/4381>

SORDELLO, Romain, 2018. NUITFRANCE. Boîte à outils. Recensement des points lumineux. *NUITFRANCE* [en ligne]. 2018. [Consulté le 8 août 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.nuitfrance.fr/?page=actions&partie=boite-outils&catliste=type_action&id_rech_type_action=5#bdd

SPOELSTRA KAMIEL, VAN GRUNSVEN ROY H. A., DONNERS MAURICE, GIENAPP PHILLIP, HUIGENS MARTINUS E., SLATERUS ROY, BERENDSE FRANK, VISSER MARCEL E. et VEENENDAAL ELMAR, 2015. Experimental illumination of natural habitat—an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition. [en ligne]. 5 mai 2015. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2014.0129>

SPOELSTRA, Kamiel, VAN GRUNSVEN, Roy H. A., RAMAKERS, Jip J. C., FERGUSON, Kim B., RAAP, Thomas, DONNERS, Maurice, VEENENDAAL, Elmar M. et VISSER, Marcel E., 2017. Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proceedings*

of the Royal Society B: Biological Sciences. 31 mai 2017. Vol. 284, n° 1855, pp. 20170075. DOI 10.1098/rspb.2017.0075.

STONE, E. L., 2011. *Bats and Development: with a Particular Focus on the Impacts of Artificial Lighting*. University of Bristol, UK.

STONE, Emma L., JONES, Gareth et HARRIS, Stephen, 2012. Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18, n° 8, pp. 2458-2465. DOI 10.1111/j.1365-2486.2012.02705.x.

STONE, Emma Louise, HARRIS, Stephen et JONES, Gareth, 2015. Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. *Mammalian Biology*. 1 mai 2015. Vol. 80, n° 3, pp. 213-219. DOI 10.1016/j.mambio.2015.02.004.

TREGOUET, Bruno, 2011. *Le point sur les chauves-souris, des mammifères témoins de l'état de la biodiversité*. 2011.

VALET, Nicolas, 2018. Mise en place d'une trame sombre. Exemple de la ville de Douai. *Réunion d'information S3Pi-HCD* [en ligne]. Prouvy-Rouvignies. 2018. [Consulté le 31 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://s3pi-hcd.fr/sites/default/files/actualites/PPT_M-VALLET-compressed.pdf

VAUCLAIR, Sébastien, DEVERCHÈRE, Philippe et DARK SKY LAB, 2018. *Guide de l'éclairage. Réserve Internationale de Ciel Etoilé du Parc National des Cévennes*. 2018.

VERNET, Arthur, 2014. *Analyse de l'effet de la gestion de l'éclairage public sur l'activité des Chiroptères dans le Parc naturel régional du Gâtinais français* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://bibliovigienature.mnhn.fr/Vernet_2014_Analyse%20de%20l%27E2%80%99effet%20de%20la%20gestion%20de%20l%27E2%80%99C3%A9clairage%20public%20sur%20l%27E2%80%99activit%C3%A9%20des%20Chiropt%C3%A8res%20dans%20le%20Parc%20naturel%20r%C3%A9gional%20du%20G%C3%A2tinais%20fran%C3%A7ais.pdf

VERNY, Paul et BUSSON, Samuel, 2017. Etude AUBE Aménagement Urbain Biodiversité et Eclairage. [en ligne]. 2017. [Consulté le 28 mai 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/01/Etude_Aube_V2018.pdf

VILLE D'AYTRÉ, 2019. *La ville d'Aytré s'éteint la nuit et rallume les étoiles: entre minuit et 6h du matin* [en ligne]. 2019. [Consulté le 12 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.aytre.fr/wp-content/uploads/2018/12/FLYER_EXTINCTION_ECLAIRAGE_PUBLIC_2019_INTERACTIF.pdf

VOIGT, Christian C, AZAM, Clementine, DEKKER, Jasja, FERGUSON, Jo, FRITZE, Marcus, GAZARYAN, Suren, HÖLKER, Franz, JONES, Gereth, LEADER, Noam, LEWANZIK, Daniel, LIMPENS, Herman, MATHEWS, Fiona, RYDELL, Jens, SCHOFIELD, Henry, SPOELSTRA, Kamiel et ZAGMAJSTER, Maja, 2018. *Guidelines for consideration of bats in lighting projects*. Bonn : UNEP/EUROBATS. ISBN 978-92-95058-39-2.

VOIGT, Christian C., ROELEKE, Manuel, MARGGRAF, Lara, PĒTERSONS, Gunārs et VOIGT-HEUCKE, Silke L., 2017. Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. In : *PloS one*. 2017.

VOIGT, Christian C., SCHOLL, Julia M., BAUER, Juliane, TEIGE, Tobias, YOVEL, Yossi, KRAMER-SCHADT, Stephanie et GRAS, P., 2019. Movement responses of common noctule bats to the illuminated urban landscape. *Landscape Ecology* [en ligne]. 4 décembre 2019. [Consulté le 17 décembre 2019]. DOI 10.1007/s10980-019-00942-4. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00942-4>

VOIGT, Christian, REHNIG, Katharina, LINDECKE, Oliver et PĒTERSONS, Gunārs, 2018. Migratory bats are attracted by red light but not by warm-white light: Implications for the protection of nocturnal migrants. *Ecology and Evolution*. 2018. Vol. 8, n° 18, pp. 9353-9361. DOI 10.1002/ece3.4400.

Zone de développement économique d'Aoste. Dossier de demande de dérogation CNPN - Faune. Chapitre 4.6 Présentation et état de conservation des espèces protégées impactées par le projet., 2013. [en ligne]. [Consulté le 22 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dev-_annexe_11_cnpn_zac_pida_-_frb013_aoste_180102_part2.pdf



Cerema Hauts-de-France

44 Ter rue Jean BART CS 20275. 59019 LILLE
Tel : 03 20 49 60 00 – mél. : DTerNP@cerema.fr

www.cerema.fr

Edition : Janvier 2020