

DIAGNOSTIC DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC ET PRIVÉ DE LA COMMUNE DE SAINT-FARGEAU AU REGARD DES ENJEUX DU SITE NATURA 2000

« MILIEUX HUMIDES ET HABITATS À CHAUVES-
SOURIS DE PUISAYE-FORETERRE »

Athena-lum
Octobre 2023



membre de



DIAGNOSTIC DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC ET PRIVÉ DE LA COMMUNE DE SAINT-FARGEAU AU REGARD DES ENJEUX DU SITE NATURA 2000 « MILIEUX HUMIDES ET HABITATS À CHAUVES-SOURIS DE PUISAYE-FORETERRE »

Projet commandité par la Communauté de communes de Puisaye-Forterre
siège social : rue Raymond Ledroit, 89170 Saint-Fargeau

Réalisation

Hélène FOGLAR et David Loose, Athena-lum
1200 chemin de Ribeyre – Cordéac
38710 Châtel-en-Trièves

David Loose EI
SIRET : 540 079 795 00014

Tél : 06 34 95 54 64

Hélène Foglar EI
SIRET : 84282956600012

contact@athena-lum.eu
<https://athena-lum.eu>

Athena-lum est membre de l'Observatoire de l'environnement nocturne
<https://observatoire-environnement-nocturne.cnrs.fr>

Toutes les photos sont été prises sur le territoire dans le cadre de ce projet © David Loose, à l'exception des 3 photos de gauche, page 37.

L'étude a été réalisée de janvier à décembre 2023

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont consacrées du temps dans le cadre de ce travail :

- les élus de Saint-Fargeau et en particulier Dominique Charpentier (maire) et Johann Blondet (3ème adjoint),
- Dominique Morisset, élu de la Communauté de communes de Puisaye-Foreterre,
- Cécile Lemoine, chargée de mission Natura 2000 à la Communauté de communes de Puisaye-Foreterre,
- Rachel Massé, Cheffe de Projet Attractivité du Territoire, à la Communauté de communes de Puisaye-Foreterre,
- Marie-Laure Michot, responsable du Service Éclairage Public au SDEY,
- Michel Guyot, propriétaire du château de Saint-Fargeau,
- Jean-Yves Soetinck, Acte Lumière
- et enfin, les collègues de l'observatoire de l'environnement nocturne (anciennement Renoir Études) et en particulier Samuel Challéat et Charles Ronzani.



Table des matières

Préambule	6
Revue bibliographique des impacts de l'éclairage artificiel nocturne	7
1 Synthèses générales sur la question de la pollution lumineuse	8
1.1 Problèmes de santé humaine	9
1.2 Influence de la lumière sur les insectes	10
1.3 Cas particulier des chiroptères	10
1.3.1 Importance des chiroptères comme espèces indicatrices	10
1.3.2 Différents groupes de chauves-souris en fonction de leur présence/absence sous les luminaires	11
1.3.3 La compétition entre chauves-souris en lien avec la lumière artificielle nocturne	11
1.3.4 L'importance de la vision chez les chauves-souris	11
1.3.5 Interactions papillons de nuits / chauves-souris sous les luminaires	13
1.3.6 Phénologie de sorties de gîte ; implications sur les extinctions nocturnes	13
1.3.7 Cas spécifique des éclairages du bâti	13
1.3.8 Impacts de l'éclairage artificiel nocturnes sur les chauves-souris à l'échelle de leur territoire	14
1.3.8.1 Effets spécifiques sur l'abreuvement des chauves-souris	16
1.3.8.2 Impacts spécifiques de différentes couleurs de la lumière	17
1.3.8.3 Impact de la modulation de l'éclairage	19
1.3.8.4 Impacts spécifiques sur les chauves-souris en migration saisonnière	19
1.3.9 Quelques publications de synthèse sur les chiroptères et la lumière artificielle	20
2 L'impact de la lumière sur les milieux aquatiques	21
3 L'approche sociale et la transdisciplinarité	22
Diagnostic	23
4 Panorama photographique des différentes situations d'éclairage	25
4.1 Éclairage public	25
4.1.1 Centre ville	25
4.1.2 Rues structurantes	25
4.1.3 Rues secondaires	26
4.1.4 Lotissements	27
4.1.5 Mises en valeur	27
4.2 Éclairages privés	27
4.2.1 Éclairages fonctionnels privés	27
4.2.2 Services 24h/24	28
4.2.3 Vitrines	28
4.2.4 Enseignes / préenseignes	28
4.2.5 Activités de loisir / restauration	29
5 Cartographie et caractérisation des points lumineux	29
5.1 Relevés de terrain	29
5.2 Gradation des niveaux d'éclairement	33
5.3 Description des dispositifs lumineux	34



5.3.1 Dispositifs d'éclairage public	34
5.3.2 Dispositifs d'éclairage privé	34
6 Historique et analyse des actions engagées par la commune sur le parc d'éclairage public	38
7 Identification des enjeux socio-économiques et financiers de l'éclairage	40
7.1 Coût énergétique de l'éclairage public	40
7.2 Besoins socio-économiques en éclairage	40
8 Identification des enjeux biologiques et écologiques de l'éclairage	43
8.1 Secteurs sensibles pour l'identification de continuités à préserver	43
8.2 Temporalité de l'éclairage	45
8.3 Intensité de l'éclairage	46
8.4 Dispersion de lumière	46
8.5 Répartition spectrale des lumières	47
8.6 Synthèse graphique des problèmes identifiés	48
8.7 Continuités sombres à préserver	50
Identification des solutions	52
9 Propositions de solutions d'amélioration de l'existant	54
9.1 Zéro artificialisation nette	54
9.2 Inciter au respect de la réglementation	54
9.3 Préserver des espaces moins éclairés dans le tissu urbain	54
9.4 Agir sur les paramètres techniques pour diminuer la pression lumineuse	54
9.5 Faire émerger la problématique « pollution lumineuse » dans la population	55
10 Proposition d'un plan de gestion phasé de l'éclairage	55

Annexes

Références bibliographiques

Liste des réunions

Proposition de courrier type aux entreprises

Planche contact des photographies fournies

Graphes des abaissements d'éclairages en fonction des différents secteurs (plate-forme Signify)

Liste des abréviations

Liste des éléments complémentaires fournis

Fichiers SIG

Données issues du spectrophotomètre (csv des répartitions spectrales, images des spectres, de la courbe de chromaticité et des indices de rendu des couleurs)

Fichiers des photographies réalisées ainsi que le fichier SIG des localisations de prises de vues

Base de données Zotero portable avec les références bibliographiques



Préambule

La lumière artificielle nocturne répond à un **besoin pour notre espèce** : besoin de se sentir en sécurité, besoin de travailler, s'amuser, se détendre ou s'instruire après la tombée de la nuit ; besoin d'illuminer la nuit pour mettre en valeur des monuments. Mais elle est arrivée très récemment de façon massive à l'échelle de l'évolution du vivant. Les différentes conséquences de cet éclairage artificiel nocturne sont de plus en plus documentées. Des équipes de recherche travaillent sur différents groupes d'espèces, dont l'homme ; des astrophysiciens étudient la diffusion de cette pollution dans le ciel, des naturalistes, des philosophes et de simples citoyens s'émeuvent de la perte des vraies nuits, qui ont accompagnées l'évolution de nos civilisations, et qui ont forgées nos représentations de l'univers.

Sur le terrain, les collectivités ont la **lourde charge de mettre en place et de gérer l'éclairage public** de manière la plus efficace et harmonieuse possible tout en évitant des charges d'investissements et de fonctionnement trop lourdes. Elles doivent naviguer dans un imbroglio de textes réglementaires, d'injonctions parfois contradictoires, issus de différents acteurs ; dénouer le vrai du faux ; décrypter le bien fondé de conseils intéressés ou désintéressés. Elles subissent les évolutions technologiques et les modes pour le meilleur et pour le pire ; elles subissent les mécontentements éventuels de leurs administrés. Au final, elles doivent **faire des compromis** parfois difficiles car la solution qui satisfasse tout le monde, qui n'ai aucune conséquence négative et qui ne coûte rien ou presque n'existe pas !

L'objet de ce travail est d'apporter des éléments pour permettre à la collectivité de faire des **choix d'éclairages qui préservent au mieux la richesse écologique du site Natura 2000**, et notamment ses populations de chiroptères qui lui ont valu sa désignation. La particularité de ce site étant d'être habité, il sera nécessaire, plus qu'ailleurs, de concilier les besoins humains de lumière et les besoins humains et non-humains, d'obscurité.

Dans une première partie, des éléments de connaissances scientifiques théoriques sur les effets de la lumière artificielle nocturne permettent de poser des bases de la connaissances.

Une deuxième partie présente le diagnostic environnemental des éclairages publics et privés de Saint-Fargeau. La troisième partie propose des pistes d'actions et un projet phasé d'amélioration de l'existant.



ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE DES IMPACTS DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL NOCTURNE



Revue bibliographique des impacts de l'éclairage artificiel nocturne

Comprendre les enjeux écologiques de l'éclairage artificiel nocturne nécessite une montée en compétences des acteurs concernés : public, élus et techniciens. Au sein des collectivités territoriales et des syndicats d'énergie, les connaissances sont souvent plus approfondies sur les sujets des consommations énergétiques que sur les questions écologiques. C'est assez logique dans la mesure où la question de l'éclairage est traitée par rapport à un besoin auquel des solutions techniques sont apportées en fonction de contraintes budgétaires. Les questions « environnementales » et plus particulièrement écologiques, sont souvent prises en compte de manière moins approfondie et moins prioritaire.

Notre analyse bibliographique ne se prétend pas exhaustive ; nous avons choisi les publications et documents que nous avons jugé les plus intéressants pour une vision globale sur le problème de la pollution lumineuse, ses effets biologiques, notamment dans les milieux aquatiques très présents sur Saint-Fargeau. Une synthèse un peu plus détaillée est proposée concernant les chauves-souris qui représentent un enjeu important pour le site Natura 2000. Des références sont également proposées pour une approche sociale et transdisciplinaire très à propos pour un site qui présente à la fois des enjeux écologiques et urbains.

NB : les descriptifs des publications sont adaptés à partir de leur résumé et éventuellement enrichis de données disponibles dans le texte intégral. Comme ils sont très majoritairement en anglais, nous les avons traduits pour faciliter la lecture. Lorsqu'ils sont entre guillemets, il s'agit de traductions ou citations littérales.

Quelques précisions pour les lecteurs qui ne seraient pas familiers des publications scientifiques : l'objet d'une publication est de répondre à une question précise dans un contexte donné ; les résultats et conclusions ne sont pas des vérités absolues ; ils sont fait pour être critiqués et discutés par d'autres scientifiques, ce qui donne parfois lieu à des publications et contre-publications. Les résultats ne sont pas forcément généralisables hors contexte et surtout, à d'autres espèces. Certaines publications sont des méta-analyses où les chercheurs ont réalisé une étude critique des publications de leurs pairs sur un sujet, ce qui les rend particulièrement intéressantes.

1 Synthèses générales sur la question de la pollution lumineuse

Revue sur la réduction des conséquences écologiques de la pollution lumineuse nocturne : options et développements (Gaston et al., 2012). Les auteurs identifient les cinq points clé pour réduire la pollution lumineuse : maintenir des secteurs non éclairés, réduire les durées d'éclairage, diminuer les dispersions de lumière, réduire les intensités, privilégier les lumières chaudes. Ils identifient la nécessité de développer des stratégies qui minimisent les conséquences écologiques tout en prenant en compte les préoccupations des besoins humains de lumière pour le confort, la sécurité et l'esthétique ainsi que les questions énergétiques et d'émissions carbone.

La première estimation des tendances mondiales des émissions d'énergie nocturnes révèle une accélération de la pollution lumineuse (Sanchez de Miguel et al., 2021). Cette étude montre « que la puissance des émissions lumineuses mondiales observables par satellite a augmenté d'au moins 49 % entre 1992 et 2017. ». Les auteurs estiment que « la transition, vers la technologie des diodes électroluminescentes (LED), augmente les émissions à des longueurs d'onde visibles indétectables par les capteurs satellitaires existants, suggérant que l'augmentation réelle de la radiance dans le spectre visible peut atteindre 270 % au niveau mondial et 400 % dans des régions spécifiques. Cette dynamique varie d'une région à l'autre, mais il y a peu de preuves que les progrès de la technologie de l'éclairage ont conduit à une diminution des émissions. ».

Une revue systématique pour établir des paramètres environnementaux pertinents pour l'éclairage urbain : traduire la recherche en pratique (Pérez Vega et al., 2022) « Les technologies d'éclairage développées au 20e siècle ont augmenté la luminosité et modifié la composition spectrale des habitats nocturnes et des ciels nocturnes dans les paysages urbains, périurbains, ruraux et vierges ; par la suite, les chercheurs ont observé la perturbation des rythmes biologiques de la flore et de la faune. Pour réduire ces impacts, il est essentiel de traduire les connaissances pertinentes sur les effets néfastes potentiels de la lumière artificielle nocturne (ALAN) issues de la recherche dans les pratiques d'éclairage urbain. Par



conséquent, l'objectif de cet article est d'identifier et de rapporter, par le biais d'une revue systématique, les effets de l'exposition à différentes propriétés physiques des sources de lumière artificielle sur divers groupes d'organismes, y compris les plantes, les arthropodes, les insectes, les araignées, les poissons, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères non-humains (y compris les chauves-souris, les rongeurs et les primates). » Un total de 1 417 études ont été prises en compte. « Dans 216 études, diverses réponses comportementales et physiologiques ont été observées dans différents taxons lorsque les organismes étaient exposés à la lumière artificielle nocturne. Les études ont montré que les réponses étaient liées aux niveaux d'éclairage, à la durée de l'exposition à la lumière et aux spectres de couleurs non naturels la nuit. Elles ont également mis en évidence les lacunes qui subsistent dans les domaines de la recherche sur l'ALAN et de la pratique de l'éclairage urbain. ».



Schéma issu de la publication qui illustre l'étendue de l'éclairage artificiel dans quatre scénarios différents : paysages urbains, périurbains, ruraux et naturels. (a) L'éclairage architectural dans les zones urbaines illumine les bâtiments, les façades, les structures architecturales et les monuments. Dans certains cas, il s'accompagne de publicités commerciales sous forme de panneaux rétroéclairés, de sources auto-éclairées et d'éclairages décoratifs pour des événements non permanents. (b) Les luminaires sur poteau et les bornes assurent la visibilité nocturne des voies piétonnes et cyclables dans les zones d'équipements publics et les zones urbaines voisines, telles que les parcs. (c) L'éclairage des rues est utilisé pour assurer la sécurité des piétons et des cyclistes et pour faciliter la visibilité de la circulation des véhicules la nuit. (d) Dans les environnements naturels, l'éclairage des routes et des autoroutes facilite la circulation des véhicules. En outre, les lieux d'arrêt, tels que les stations-service et les gares, ainsi que les villages avec des maisons rurales, deviennent des points éclairés la nuit (auteur : Catherine Pérez Vega).

Une méta-analyse des impacts biologiques de la lumière artificielle nocturne (Sanders et al., 2020). « Les cycles naturels de la lumière sont perturbés dans de vastes régions du globe par les émissions directes et les halos dans le ciel provenant des sources de lumière artificielle nocturne. On s'attend à ce que cela affecte les organismes sauvages, en particulier en raison du rôle central que jouent les variations de lumière dans les phasages des activités biologiques. Bien que de nombreuses études empiriques aient fait état de ces effets, elles se sont concentrées sur des espèces particulières ou des communautés locales et n'ont donc pas été en mesure de fournir une évaluation générale de la fréquence et de la force de ces impacts. En utilisant une nouvelle base de données d'études publiées, nous montrons que l'exposition à la lumière artificielle la nuit induit de fortes réponses physiologiques, des effets sur les schémas d'activité quotidienne et les traits d'histoire de vie. Nous avons trouvé des réponses particulièrement fortes en ce qui concerne les niveaux d'hormones, le début de l'activité quotidienne chez les espèces diurnes et les traits d'histoire de vie, tels que le nombre de descendants, la prédation, la cognition et le repérage en mer (chez les tortues). Jusqu'à présent, peu d'études ont porté sur l'impact de la lumière artificielle nocturne sur les fonctions de l'écosystème. L'ampleur, et souvent la force des impacts biologiques que nous révélons, soulignent la nécessité de limiter l'éclairage artificiel nocturne extérieur aux endroits et aux formes (horaires, intensité et spectre) où il est réellement nécessaire aux personnes qui l'utilisent, afin de minimiser les impacts écologiques. »

Problèmes de santé humaine

Recommandations concernant l'exposition à la lumière intérieure pendant la journée, le soir et la nuit afin de favoriser au mieux la physiologie, le sommeil et l'éveil chez les adultes en bonne santé (Brown et al., 2022). Cette étude, cosignée par des chercheurs référents sur ces questions, pose des valeurs seuils d'exposition basées sur un large consensus. La métrique pertinente est l'« éclairage équivalent mélanopique » (*melanopic equivalent daylight illuminance, EDI*). Il s'agit d'une métrique adoptée par la CIE et reconnue par le système international SI. L'EDI représente l'éclairage en lux ayant une action sur les photorécepteurs non visuels à mélanopsine, qui agissent sur la sécrétion de mélatonine. Les seuils à respecter pour une bonne santé sont les suivants :

< 1 lux d'EDI dans les endroit où l'on dort
< 10 lux d'EDI 3 heures avant le coucher
> 250 lux d'EDI pendant la journée

Association entre l'exposition à la lumière nocturne et les problèmes de sommeil : une revue systématique et une méta-analyse d'études d'observations (Xu et al., 2023). Les résultats confirment les effets néfastes de l'exposition à la lumière artificielle nocturne sur le sommeil. Maintenir l'obscurité de la chambre à coucher pendant la nuit est conseillé pour réduire la prévalence des problèmes de sommeil.

Lumière nocturne et risque de cancer du sein : revue systématique et méta-analyse dose-réponse (Urbano et al., 2021). « *La méta-analyse dose-réponse, réalisée uniquement à partir d'études sur la lumière artificielle nocturne extérieure, a montré une relation linéaire jusqu'à 40 nW/cm²/sr, après quoi la courbe s'est aplatie, en particulier chez les femmes préménopausées. Cette première évaluation de la relation dose-réponse entre la lumière artificielle nocturne et le cancer du sein confirme l'existence d'une association positive dans certains sous-groupes, en particulier chez les femmes préménopausées.* ».

1.2 Influence de la lumière sur les insectes

L'éclairage artificiel nocturne impacte les liens d'écologie visuelle entre les fleurs, les pollinisateurs et les prédateurs (Briolat et al., 2021). L'étude montre « *les effets de différentes sources de lumière artificielle sur de multiples aspects de l'écologie visuelle des papillons de nuit, y compris leur perception des signaux floraux pour la pollinisation, le potentiel de signalisation sexuelle intraspécifique et l'efficacité de leurs défenses visuelles contre la prédation par les oiseaux. Les sources lumineuses se répartissent en trois grandes catégories : celles qui empêchent l'utilisation de signaux chromatiques pour ces comportements, celles qui reproduisent plus fidèlement les conditions d'éclairage naturel et, enfin, celles dont les effets varient en fonction de l'intensité lumineuse et de la couleur du signal. Nous constatons que l'éclairage LED ambre - souvent considéré comme moins nocif pour les insectes nocturnes - appartient à ce troisième groupe de perturbateurs, avec des conséquences imprévisibles pour l'écologie visuelle des insectes en fonction de la distance de la source lumineuse et de la couleur des objets observés. La diversité des impacts de l'éclairage artificiel sur l'écologie visuelle des papillons de nuit plaide à elle seule en faveur d'une approche nuancée de l'éclairage extérieur dans les zones écologiquement sensibles, en utilisant des intensités et des spectres conçus pour limiter les effets les plus préoccupants.* ».

La pollution lumineuse est un facteur de déclin des insectes (Owens et al., 2020). Cette étude analyse les différents impacts de la lumière artificielle nocturne sur les insectes décrits dans la littérature scientifique : déplacements, recherche de nourriture, reproduction, prédation et développement. Elle donne des recommandations pour réduire les conséquences écologiques de l'éclairage. Les insectes sont relativement insensibles à la lumière rouge. Les lumières à grandes longueurs d'ondes (ambres ou rouges) attirent peu les insectes et ont le moins d'effet sur la suppression de la mélatonine, ce qui réduit les impacts sur leur physiologie et leur développement. Néanmoins d'autres espèces dans d'autres groupes réagissent différemment et il n'y a pas de solution universelle. Les auteurs conseillent donc de limiter l'éclairage où endroit où il est réellement nécessaire, de diminuer l'intensité au seuil le plus bas acceptable et de réduire le nombre de points lumineux dans et autour des secteurs d'intérêt écologique.

1.3 Cas particulier des chiroptères

1.3.1 Importance des chiroptères comme espèces indicatrices

***Carpenoctem* : l'importance des chauves-souris en tant que bio-indicateurs (Jones et al., 2009).** Ces espèces nocturnes, de part leur position dans la chaîne alimentaire, reflètent les atteintes aux arthropodes et aux plantes ; on les trouve dans des milieux très différents sur tous les continents ; elles réagissent à la perte de leurs milieux et aux différentes pollutions (pesticides, lumière...) de manière mesurable ; concernant les lumières artificielles nocturnes, elles réagissent notamment à l'intensité, au spectre, à la temporalité, à la diffusion). Leur suivi est facilité par le matériel de détection

acoustique.

1.3.2 Différents groupes de chauves-souris en fonction de leur présence/absence sous les luminaires

L'exploitation des insectes par les chauves-souris autour des luminaires en Suède (Rydell, 1992). Sur les 9 espèces de chauves-souris présentes, seules les espèces volant rapidement et utilisant des systèmes d'écholocation à longue portée (*Nyctalus noctula*, *Vespertilio murinus*, *Eptesicus nilssonii* (90 % des détections) et occasionnellement *Pipistrellus pipistrellus*) sont détectées autour des luminaires ; *Myotis spp.* et *Plecotus auritus* sont absentes.

Les chauves-souris et leurs insectes-proies autour des luminaires (Rydell, 2006). Chapitre du livre « Ecological consequences of artificial night lighting ».

Les grandes chauves-souris et celles qui ont un vol rapide chassent dans des milieux ouverts (par exemple, autour et au-dessus des luminaires). Les petites chauves-souris à ailes larges qui volent lentement exploitent des milieux plus complexes.

L'éclairage artificiel représente un avantage pour les chauves-souris qui l'exploitent de par la prévisibilité de la ressource. Il n'y a pas de preuve que l'éclairage ait augmenté les populations de certaines espèces, même si cela est probable pour *Pipistrellus pipistrellus* et *Eptesicus nilssonii*.

Les interactions entre chauves-souris sous les luminaires peuvent amener à l'exclusion d'espèces au profit d'autres.

Utilisation des routes éclairées, par les chauves-souris en quête de nourriture dans le sud de l'Angleterre (Blake et al., 1994). Une étude, dans le Sud de la Grande Bretagne sur des routes éclairées par des lumières blanches, montre qu'elles attirent trois fois plus de chauves-souris en chasse (principalement *Pipistrellus pipistrellus*) que les routes éclairées par des lumières oranges ou les routes non éclairées (3,2, 1,2 et 0,7 passages de chauves-souris/km, respectivement). Plus d'insectes ont volé autour des lampadaires blancs qu'autour des lampadaires orange (moyenne de 0,67 et 0,083 insectes par lampadaire, respectivement).

(NB : en 1994 il s'agissait sans doute de ballons fluo vs SHP).

1.3.3 La compétition entre chauves-souris en lien avec la lumière artificielle nocturne

Crier plus fort et plus longtemps : comment les chauves-souris utilisent le biosonar en cas d'interférence acoustique sévère de la part d'autres chauves-souris (Amichai et al., 2015). Test sur des pipistrelles de Khul en situation encombrée avec beaucoup d'individus (ce qui peut se passer sous les luminaires) : pour éviter les interférences avec les cris des autres chauves-souris, elles adaptent leur signal.

La compétition pour la nourriture entre les populations de chauves-souris pipistrelles (*Pipistrellus pipistrellus*) en expansion pourrait contribuer au déclin des petites chauves-souris fer à cheval (*Rhinolophus hipposideros*) (Arlettaz et al., 2000). Les populations de *Rhinolophus hipposideros* (Petit rhinolophe) ont chuté en Europe de l'ouest depuis les années 60 ; en même temps les populations de pipistrelles communes ont augmenté. L'hypothèse est que les populations de ces dernières ont augmenté avec la ressource de nourriture sous les luminaires et que cette nourriture a fait défaut aux rhinolophes. Les auteurs alertent sur cette possibilité.

1.3.4 L'importance de la vision chez les chauves-souris

Les chauves-souris possèdent des photorécepteurs coniques sensibles aux ultraviolets (Müller et al., 2009). Les micro-chiroptères possèdent les attributs nécessaires à la vision diurne (cônes) même si leurs yeux sont petits et leur rétine dominée par les bâtonnets. Cette étude met en évidence les capacités de vision diurne et crépusculaire des micro-chiroptères qui étaient réputés se déplacer uniquement par écholocation. Des cônes sensibles aux grandes longueurs d'ondes avaient précédemment été mis en évidence chez *Rhinolophus ferrumequinum* et des cônes sensibles aux grandes et courtes longueurs d'ondes chez *Myotis velifer*. Ici ces deux types de cônes sont identifiés chez *Glossophaga soricina* et *Carollia perspicillata*.

Ce n'est pas noir ou blanc - la gamme de vision et l'écholocation chez les chauves-souris (Boonman et al., 2013).



L'étude compare les portées d'écholocation et de détection visuelle de deux espèces de chauves-souris qui utilisent des stratégies de recherche de nourriture différentes (*Rhinopoma microphyllum* et *Pipistrellus kuhlii*). L'écholocation est plus efficace pour détecter des petites proies, même en milieu éclairé (1 à 10 lx) alors que la vision est utilisée pour repérer des éléments du paysage pour les deux espèces. Les chercheurs posent l'hypothèse que les chauves-souris intègrent constamment les informations des deux systèmes, visuel et écholocation.

Acuité visuelle et taille des yeux chez cinq espèces de chauves-souris européennes en relation avec les stratégies de recherche de nourriture et de migration (Eklöf *et al.*, 2014). L'étude a « permis de déterminer les seuils d'acuité visuelle chez cinq espèces de chauves-souris insectivores d'Europe du Nord appartenant à la famille des Vespertilionidae. Les individus de trois espèces de *Myotis* à prédominance aérienne (*M. brandtii*, *M. mystacinus* et *M. daubentonii*) ne réagissent qu'à un motif de rayures équivalent à 5 degrés d'arc, tandis que *Pipistrellus nathusii*, une autre espèce à prédominance aérienne et migratrice, réagit à 1 degré d'arc. En revanche, *Plecotus auritus*, qui est un glaneur capable de détecter ses proies uniquement par la vue, a réagi à un motif équivalent à 0,5 degré. L'acuité visuelle était positivement corrélée au diamètre des yeux, qui variait de 0,9 mm chez *M. mystacinus* à 1,7 mm chez *P. auritus*. Les résultats sont cohérents avec des résultats antérieurs sur des espèces apparentées dans d'autres parties du monde. La variation de la taille des yeux et de l'acuité visuelle chez les chauves-souris insectivores reflète des différences dans les techniques de recherche de nourriture et peut-être aussi dans le comportement migratoire, illustrant ainsi comment la vision est utilisée en complément de l'écholocation ultrasonique dans diverses situations de navigation et de recherche de nourriture. »

La vision des chauves-souris interfère avec leur capacité à éviter les collisions avec des obstacles fixes (Orbach & Fenton, 2010). Cette étude montre comment les chauves-souris s'orientent parfois avec la vision au lieu de l'écholocation et comment, en situation d'éclairage artificiel, cela peut conduire à des collisions.

1.3.5 Interactions papillons de nuits / chauves-souris sous les luminaires

Attaques de chauves-souris et comportement défensif des papillons de nuit autour des lampadaires (Acharya & Fenton, 1999). Le comportement de fuite des papillons qui détectent les chauves-souris est altéré par l'éclairage public. Confirmé par (Bailey *et al.*, 2019)

La pollution lumineuse pourrait modifier l'équilibre d'une ancienne course aux armements entre prédateurs et proies (Minnaar *et al.*, 2015). Cette étude est conduite en Afrique du Sud sur la sérotine du cap *Neoromicia capensis* avec un dispositif expérimental d'éclairage avec des lampes à vapeur de mercure dans une réserve naturelle non éclairée. La consommation des papillons de nuit a été multipliée par 6 sous les luminaires malgré une présence plus faible de papillons. Les résultats suggèrent que la défense des papillons basée sur leur détection des chauves-souris est affectée par l'éclairage et que l'éclairage augmente à la fois la compétition pour la nourriture chez les chauves-souris et la prédation pour les papillons. L'étude plaide pour le maintien de refuges non éclairés en ville et l'absence d'éclairage dans les zones naturelles.

1.3.6 Phénologie de sorties de gîte ; implications sur les extinctions nocturnes

L'extinction en milieu de nuit est-elle une mesure efficace pour limiter l'impact de l'éclairage artificiel sur les chauves-souris ? (Azam *et al.*, 2015). Ce travail concerne l'effet, étudié sur le territoire du Gâtinais, de l'extinction nocturne. Il montre que l'extinction à minuit (+- 1 heure) est trop tardive pour agir positivement sur les chauves-souris sensibles à la lumière.

Extinction nocturne : implications pour la conservation des chauves-souris (Day *et al.*, 2015). L'exemple du Grand rhinolophe *Rhinolophus ferrumequinum*, espèce photophobe, est pris pour tester une gestion avec extinction nocturne de l'éclairage des routes. L'équipe a observé un pic d'activité une heure après le coucher du soleil et un pic moins important avant le lever du soleil. La conclusion est que les pratiques d'extinction après minuit sont insuffisantes pour préserver l'espèce et qu'il convient de mettre en œuvre d'autres actions comme la suppression de certains points lumineux, l'orientation optimale du flux lumineux et des lumières à grandes longueurs d'ondes.

Le type de proie et le risque de prédation comme facteurs influençant l'heure de sortie de gîte des chauves-souris (Jones & Rydell, 1994). L'étude montre que les chauves-souris qui se nourrissent de petits insectes volants sortent plus



tôt pour avoir accès au pic de vol des diptères au crépuscule. Ceci les expose au risque de prédation accru par des rapaces encore actifs. Les chauves-souris qui se nourrissent de papillons de nuit ou de proies non volantes posées sur la végétation sortent plus tard. Elles réduisent également leur risque de prédation.

Caractérisation des modèles d'activité pour concevoir des mesures de conservation : étude de cas des espèces de chauves-souris européennes (Mariton et al., 2023). L'étude a permis de caractériser l'activité temporelle de 20 espèces de chauves-souris dans le but de réduire les impacts. Ainsi les chauves-souris se répartissent en 3 groupes : les crépusculaires avec une activité en début de nuit et en fin de nuit (*Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus pygmaeus* et *N. noctula*), les actives en coeur de nuit avec une activité plus tard dans la soirée et une fin d'activité plus tôt le matin (*Myotis Myotis*, *P. auritus*, *M. emarginatus*, *Myotis nattereri*, *P. austriacus*, *Rhinolophus hipposideros*, *M. mystacinus*, *T. teniotis*, *B. barbastellus* et *Miniopterus schreibersii*) ou celles qui ont une activité intermédiaire entre les 2 groupes précédents (*Pipistrellus kuhlii*, *H. savii*, *E. serotinus*, *M. daubentonii*, *P. nathusii*, *Nyctalus leisleri* et *Rhinolophus ferrumequinum*) ; des variations en fonction des saisons sont observées.

Comparaison entre l'activité de sortie et de retour au gîte chez les chauves-souris pipistrelles *Pipistrellus pipistrellus* et *P. pygmaeus* (Petrželková et al., 2006). Cette étude analyse finement les heures et durées de sortie de gîte de 6 colonies de reproduction. Une sortie précoce augmente le risque de prédation par les rapaces, mais une sortie tardive risque de faire manquer le pic crépusculaire des insectes aériens.

Horaires de chasse de trois espèces de chauves-souris en relation avec l'activité des insectes et le risque de prédation (Rydell et al., 1996). Étude au Nord de l'Écosse. *Pipistrellus pipistrellus* et *Myotis daubentonii* se nourrissent principalement d'insectes aériens, surtout des diptères, qui ont leur pic d'activité au crépuscule, émergent 15 à 30 minutes après le coucher du soleil, alors que leur ressource de nourriture est sur le déclin (une sortie plus tôt les exposerait d'avantage au risque de prédation). Au contraire *Plecotus auritus* qui glane des insectes et se nourrit principalement avec des papillons, ne sort pas avant une heure après le coucher du soleil, lorsque l'activité de ses proies est croissante (une sortie plus précoce n'aurait aucun avantage pour elle).

1.3.7 Cas spécifique des éclairages du bâti

Les effets de l'éclairage des bâtiments sur les chauves-souris qui gîtent dans le bâti et leurs conséquences en termes de conservation (Boldogh et al., 2007). Cette étude concerne les colonies de 3 espèces, *Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis emarginatus* et *M. oxygnathus* en conditions éclairées et non éclairées proches. Les heures de sortie des gîtes ont été observées. Les mesures du poids des jeunes et de taille de leur avant-bras ont été faites. Les résultats montrent qu'une forte lumière retarde l'heure de sortie et prolonge significativement sa durée ; dans le pire des cas, la colonie est détruite. Les juvéniles sont significativement plus petits dans les sites éclairés. L'éclairage compromet donc la survie des colonies de chauves-souris du bâti.

L'âge des lumières : effets à long terme des lumières esthétiques extérieures sur les chauves-souris dans les églises (Rydell et al., 2017). 110 églises ont été inspectées pour la présence de *Plecotus auritus* en 2016 en notant si elles étaient éclairées ou non. 61 de ces églises avaient fait l'objet d'un suivi entre 1980 et 1990 avant l'installation des lumières. La fréquence des églises abritant des colonies de chauves-souris a considérablement diminué, passant de 61 % dans les années 1980 à 38 % en 2016. Toutes les églises abandonnées ont fait l'objet d'une mise en valeur lumineuse. L'abandon des églises suite à l'éclairage est hautement significatif surtout quand les 4 faces sont éclairées n'offrant plus d'accès non éclairé au gîte. Au contraire 13 colonies qui n'ont pas été éclairées ont vu leur colonies persister en 25 ans.

Comment quitter l'église : évitement de la lumière par les oreillardes (Rydell et al., 2021). L'étude porte sur *Plecotus auritus* dans 33 églises de Suède pour déterminer l'influence de la quantité de lumière et la distance à parcourir en zone ouverte. Les résultats montrent que les fortes intensités lumineuse sont strictement évitées et que la majorité des chauves-souris sortent en dessous de 1,25 lux. La plupart des oreillardes ont rejoint la canopée à moins de 15 m de distance de l'église.



1.3.8 Impacts de l'éclairage artificiel nocturne sur les chauves-souris à l'échelle de leur territoire

L'impact de la pollution lumineuse sur les chauves-souris varie en fonction de la guildes de nourrissage et du contexte de l'habitat (C. C. Voigt et al., 2021). Méta-analyse des impacts de la lumière artificielle sur les chauves-souris. « Toutes les espèces européennes étudiées réagissent négativement à l'ALAN à proximité des gîtes et des sites d'abreuvement, et les impacts se produisent dans une large gamme de couleurs et d'intensités lumineuses. La plupart des espèces de chauves-souris sont sensibles à l'ALAN lorsqu'elles se déplacent et se nourrissent. Bien que les espèces de chauves-souris qui se nourrissent dans des milieux encombrés évitent systématiquement l'ALAN lorsqu'elles se nourrissent, les espèces qui se nourrissent dans des espaces ouverts ou en bordure peuvent exploiter les insectes attirés par la lumière. Par conséquent, l'ALAN agit comme un filtre environnemental sur les assemblages de chauves-souris. Compte tenu de l'effet néfaste de l'ALAN sur les insectes, nous concluons que l'ALAN a probablement un impact négatif sur toutes les espèces de chauves-souris, même sur celles qui se nourrissent à proximité des lampadaires. ».

Thèse sur la **caractérisation de l'impact de l'éclairage artificiel sur les chauves-souris (Azam, 2016)**. Test de la limitation de la durée d'éclairage dans le temps et de la répartition spatiale de l'éclairage pour la création de corridors ou de zones refuges dans les paysages anthropisés. Les extinctions actuelles sont insuffisantes pour limiter l'impact sur les chauves-souris lucifuges ; les luminaires ne doivent pas être posés à moins de 50 m des secteurs écologiquement sensibles et la lumière dans la végétation ne doit pas dépasser 0,1 lux pour permettre l'utilisation de ces espaces par les espèces sensibles à la lumière.

Démêler l'effet relatif de la pollution lumineuse, des surfaces imperméables et de l'agriculture intensive sur l'activité des chauves-souris à l'aide d'un programme de surveillance à l'échelle nationale (Azam et al., 2016). « De manière surprenante, nos résultats ont montré que ces espèces dites « attirées par la lumière » ne présentaient qu'une réponse négative ou neutre à l'ALAN à l'échelle du paysage. Cela suggère que même si un lampadaire peut présenter des avantages pour la recherche de nourriture pour certaines espèces de chauves-souris au niveau local, le niveau d'ALAN à l'échelle du paysage génère un "filtre" paysager qui influence négativement l'occurrence et l'activité des chauves-souris dans un endroit donné. »

« L'illumination artificielle des gîtes de reproduction a un impact majeur sur la condition physique des juvéniles et des femelles reproductrices en désynchronisant le moment de la sortie nocturne des chauves-souris avec le pic d'abondance des insectes. »

La lumière artificielle impacte les déplacements en ville des pipistrelles.

Les chauves-souris sont impactées par le déclin des grands papillons de nuits pour lesquels les halos lumineux des villes agissent comme un puit écologique.

L'effet rebond dû à l'augmentation des LED « qui consomment moins » est souligné.

Étude de « l'impact de la position spatiale des lampadaires et de la dispersion de la lumière sur l'utilisation des corridors écologiques par les chauves-souris en transit dans les paysages anthropogéniques. » (Azam et al., 2018)

« Alors que l'effet d'attraction des lampadaires était principalement limité à un rayon de 10 m pour *Pipistrellus sp.* et *Nyctalus sp.*, l'évitement des lampadaires a été détecté jusqu'à 25 et 50 m pour *Myotis sp.* et *Eptesicus serotinus*, respectivement. Les effets des lampadaires sur *Myotis sp.* et *Nyctalus sp.* ont persisté après l'extinction des lampes. L'éclairage a eu un effet négatif sur *Myotis sp.* en dessous de 1 lx, un effet mitigé sur *E. serotinus*, et un effet positif sur les autres espèces, bien qu'un pic d'activité ait été observé entre 1 et 5 lx pour *P. pipistrellus* et *N. leisleri*. Nous recommandons d'éloigner les lampadaires des corridors écologiques d'au moins 50 m et d'éviter les intrusions verticales de lumière au-delà de 0,1 lx afin de garantir leur utilisation par les chauves-souris sensibles à la lumière. »

La lumière artificielle peut modifier les schémas de vol des chauves-souris près des ponts le long des voies d'eau urbaines (Barré et al., 2020). Les cours d'eau en milieu urbain sont des habitats cruciaux pour les déplacements et la chasse des chiroptères. Cette étude met en évidence l'influence de l'éclairage des ponts et des façades sur les déplacements des pipistrelles et leur abondance par de la trajectographie en 3D. L'activité des chauves-souris était 1,7 fois moindre en présence d'éclairage ; les chauves-souris volent également plus vite sous la lumière. Cette étude montre que l'éclairage des ponts réduit la connectivité de la rivière pour les chauves-souris.



La structure du paysage influence l'impact de la lumière artificielle sur les chauves-souris insectivores (Barré et al., 2022). L'activité des chauves-souris a été mesurée sur un gradient de lumière en différents milieux (253 sites). Sur les 13 taxons de chauves-souris, l'augmentation de la luminosité a décru l'activité des espèces glaneuses (*Myotis* et *Plecotus spp*) ainsi qu'une espèce de milieux ouverts (*Pipistrellus pipistrellus*) et augmenté l'activité de deux espèces de milieux ouverts (*Pipistrellus kuhlii* et *Pipistrellus pygmaeus*). Cette étude met en évidence l'importance de la complexité du paysage sur l'effet qu'exerce la lumière artificielle sur les chauves-souris. Le rôle des linéaires de haies et des arbres est souligné en tant que supports de déplacements, de refuges contre la prédation et de milieux plus favorables pour les arthropodes proies. Globalement les effets ont été plus visibles en milieux ruraux qu'en milieux urbains ce qui plaide pour une attention particulière en milieux non urbains.

L'éclairage artificiel réduit l'efficacité des passages à faune pour les chauves-souris insectivores (Bhardwaj et al., 2020). Les passages à faune sont souvent conçus pour être également utilisés par les humains et, par conséquent, éclairés la nuit. Cette étude en Australie montre que cela est contre-productif pour les chauves-souris insectivores et pour une grande partie de la faune.

La pollution lumineuse à la lisière des forêts urbaines a un impact négatif sur les chauves-souris insectivores (Haddock et al., 2019). Cette étude australienne a montré que les chauves-souris à vol lent adaptées à une végétation encombrée ou ayant une fréquence caractéristique d'écholocation relativement élevée ont été négativement affectées par les sources de lumière artificielle (lampes à vapeur de mercure) en lisière de forêt. Les auteurs alertent sur les sources de lumière artificielle à la lisière des forêts urbaines qui sont susceptibles de réduire l'habitat disponible et diminuer la connectivité pour les espèces sensibles à la lumière.

L'impact écologique des scénarios d'éclairage urbain : étude sur les franchissements de zones éclairées dans des corridors sombres (Hale et al., 2015). La possibilité de circuler entre le gîte et les zones de chasse est essentielle pour les pipistrelles urbaines ; les difficultés rencontrées peuvent avoir des effets négatifs sur la condition physique des individus et limiter la taille des populations urbaines. L'étude montre qu'un réseau d'arbres urbains est un support pour le déplacement des pipistrelles même s'il y a des discontinuités éclairées jusqu'à 80 m. «*L'atténuation stratégique de l'éclairage à proximité des trouées, combinée au rétrécissement des trouées par la plantation d'arbres, pourrait donc constituer une mesure de conservation raisonnable pour cette espèce dans les zones urbaines. Une telle approche peut également être bénéfique pour d'autres espèces de chauves-souris qui sont encore moins tolérantes à l'éclairage, telles que Myotis spp* »

Preuve expérimentale de perturbations lumineuses le long des itinéraires de déplacement des murins des marais (*Myotis dasycneme*) (Kuijper et al., 2008). Les murins des marais vivent dans des colonies temporaires de mâles et femelles séparés. Ces colonies sont interconnectées en réseaux formés de zones de chasse et de transit. Le fonctionnement de ces réseaux est crucial pour la conservation de l'espèce. Cette étude en Pologne montre qu'un éclairage artificiel placé sur les trajectoires perturbe les chauves-souris (évitement et arrêt de chasse). Les lumières utilisées sont des spot halogène de 1000 W qui produisent environ 10 lux à 10 m.

L'influence de faibles intensités de lumière artificielle nocturne sur les communautés de chauves-souris dans un contexte semi-naturel (Lacoeuilhe et al., 2014). Cette étude française analyse les effets de l'intensité de la lumière et des types de sources lumineuses sur l'activité des chauves-souris dans un environnement semi-naturel (site Natura 2000, estuaire de la Loire). L'étude a identifié un groupe d'espèces tolérantes à la lumière (*P. pipistrellus*, *P. pygmaeus*, *P. kuhlii*, *E. serotinus* et *N. noctula*) et un groupe intolérant (*N. leisleri*, *Myotis spp.* et *Plecotus spp.*). Ce dernier groupe comprend les espèces plutôt rares et menacées en Europe. 119 stations ont été étudiées avec des gradients de luminosité allant de 0 à 25 lux comprenant des lumières oranges et des lumières blanches.

NB : pas de mesures de spectro faites ; l'étude pointe bien le biais des lux par rapport à ce que perçoivent les chauves-souris des différents spectres.

Réduire la pollution lumineuse améliore la connectivité pour les chauves-souris en milieu urbain (Laforge et al., 2019). Étude sur l'agglomération de Lille avec un échantillonnage de points ayant fait l'objet de relevés acoustiques, croisés avec les données de radiance satellite. Ces dernières donnent une bonne prédiction de la présence d'activité de chauves-souris.

NB : cette étude ne rentre pas finement dans l'impact des différentes sources d'éclairages et, étant basé sur les données



satellites aveugles sous 500 nm, n'est pas reproductible sur une agglomération qui serait passée en LED blanches.

Évaluation du potentiel des zones urbaines pour la conservation des chauves-souris grâce aux données de la science participative (Lewanzik *et al.*, 2021). Étude conduite sur 2 ans sur la métropole de Berlin avec plus de 200 participants qui ont réalisés des enregistrements sur 600 sites prédéfinis. L'étude montre que l'éclairage artificiel a un impact négatif sur toutes les espèces. Le couvert végétal et l'eau libre étaient particulièrement importants pour les espèces de chauves-souris qui s'alimentent le long des bordures de végétation et pour les chauves-souris qui s'alimentent sur l'eau, respectivement. La probabilité d'occurrence des espèces se nourrissant dans les espaces ouverts diminue avec l'augmentation de la distance par rapport aux masses d'eau. « L'étude montre que malgré les nombreux impacts négatifs de l'urbanisation sur la faune, les environnements urbains peuvent abriter des populations de chauves-souris si certaines conditions sont réunies, telles que l'accès à la végétation et aux plans d'eau et de faibles niveaux d'éclairage artificiel ». NB : cette étude ne rentre pas finement dans l'impact des différentes sources d'éclairages et, étant basé sur les données satellites aveugles sous 500 nm, n'est pas reproductible sur une agglomération qui serait passée en LED blanches.

Même de faibles niveaux de pollution lumineuse affectent la distribution spatiale et l'activité temporelle d'une espèce de chauves-souris "tolérante à la lumière" (Mariton *et al.*, 2022). Cette étude se base sur des données du programme vigi-chiro (1894 nuits sur 1055 sites). L'étude explore les effets de la lumière à l'échelle du paysage sur une espèce de chauves-souris de milieux ouverts, *Eptesicus serotinus*. La lumière artificielle et, dans une moindre mesure la lune, retardent l'activité de cette chauves-souris. Ce retard est amplifié en présence d'une couche nuageuse. NB : cette étude ne rentre pas finement dans l'impact des différentes sources d'éclairages et, étant basé sur les données satellites aveugles sous 500 nm, n'est pas reproductible sur une agglomération qui serait passée en LED blanches.

Obstacles et bénéfiques : implications de l'éclairage nocturne artificiel pour la distribution des chauves-souris communes en Grande-Bretagne et en Irlande (Mathews *et al.*, 2015). 600 localisations sont analysées montrant que l'éclairage n'est pas généralement lié à une augmentation de l'activité des chauves-souris les plus courantes. *Nyctalus leisleri* semble être une exception avec plus d'activité en zones éclairées. Pour *Pipistrellus pipistrellus*, l'éclairage est négativement corrélé à sa présence à l'échelle du paysage mais une bonne couverture d'arbres peut augmenter sa présence. Les types de source lumineuses sont identifiées visuellement de jour et de nuit (SHP, SBP ou BF ; pas de LED à cette époque).

Prise en compte de l'impact de la lumière artificielle sur l'activité des chauves-souris pour un urbanisme respectueux de la biodiversité (Pauwels *et al.*, 2019). L'étude compare les données d'éclairage issues de l'ISS et des données d'éclairage de terrain pour évaluer l'impact de la pollution lumineuse sur l'activité de *Pipistrellus pipistrellus* à l'échelle d'une ville. Des données de Vigi-chiro ont été utilisées sur 3 villes en France. L'étude montre que l'activité de *Pipistrellus pipistrellus* est négativement affectée par l'éclairage indépendamment de la source de données utilisée, mais mieux décrite par les données ISS. Cette étude montre un dispositif facilement reproductible.

La couverture arbustive atténue les effets de l'éclairage artificiel sur les chauves-souris urbaines (Straka *et al.*, 2019). Cette étude conduite à Berlin s'intéresse à la relation entre la couverture arborée et la présence d'UV dans la lumière d'une part, et les espèces d'autres part. L'étude souligne l'importance de minimiser la lumière artificielle la nuit à proximité de la végétation, en particulier pour les chauves-souris adaptées aux milieux encombrés, et d'augmenter la végétation dense dans les paysages urbains pour fournir, en plus des possibilités de gîte, une protection contre la lumière artificielle pour les chauves-souris des milieux ouverts, dans les paysages urbains.

1.3.8.1 Effets spécifiques sur l'abreuvement des chauves-souris

Effets de l'éclairage artificiel sur l'abreuvement des chauves-souris : essai sur le terrain dans des habitats forestiers et désertiques (Russo *et al.*, 2018). Cette étude est conduite dans des zones forestières d'Italie et dans des zones désertiques d'Israël. 6853 buzz d'abreuvement ont été enregistrés dans 17 sites. Les espèces de milieux ouverts (*P. pipistrellus*, *H. savii*, *P. kuhlii* et *N. leisleri*) ont montré peu ou pas de gêne à boire sous la lumière alors que les espèces de milieux forestiers (*Barbastella barbastellus*, *Plecotus auritus* et le groupe *Myotis*) ont montré une forte répulsion. En milieux désertiques toutes les espèces ont réduit leurs abreuvements.

NB : publication non disponible librement et le résumé ne dit pas de quelle source lumineuse il s'agit et à quelle



intensité.

Effets négatifs de l'éclairage artificiel sur l'activité d'abreuvement des chauves-souris (Russo et al., 2017). Le comportement d'abreuvement est plus sensible à la lumière que le comportement de chasse : même les espèces tolérantes à la lumière évitent de boire en milieu éclairé. Les auteurs proposent d'interdire l'éclairage des masses d'eau ou de fournir des sites alternatifs non éclairés.

Réactions des noctules au paysage urbain éclairé (Voigt et al., 2020). Une vingtaine de chauves-souris à Berlin ont été équipées d'enregistreurs de position GPS miniature qui ont permis de suivre leurs déplacements dans le milieu urbain. Les noctules communes s'alimentent à proximité de la lumière artificielle uniquement près des plans d'eau ou des zones bien végétalisées, probablement pour exploiter les essaims d'insectes attirés par les lampadaires. En revanche, elles évitent les routes éclairées, quelle que soit la couverture végétale à proximité. Les cartes prédictives ont identifié la majeure partie de l'aire métropolitaine comme n'étant pas favorable à cette espèce en raison des niveaux élevés de surfaces imperméables et de lumière artificielle. Les corridors sombres sont utilisés par les noctules pour leurs déplacements et améliorent donc probablement la perméabilité du paysage urbain.

1.3.8.2 Impacts spécifiques de différentes couleurs de la lumière

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 ? (Azam, 2018). « Une expérimentation menée dans le Parc naturel régional du Gâtinais français, mesure l'impact de la pollution lumineuse sur certaines chauves-souris. Ainsi les Murins évitent les sources lumineuses alors que les Pipistrelles communes y sont attirées avec les nuées d'insectes qu'elles consomment. Les résultats montrent l'importance de parfaitement maîtriser les caractéristiques de l'éclairage public dans les corridors de type «Trames Vertes et Bleue ».»

La manipulation des spectres de lumière artificielle affecte les déplacements des chauves-souris le long des corridors écologiques (Barré et al., 2023). L'étude compare l'attraction de différents spectres (rouge, vert et blanc à 8,7 +/- 3,0 lux au sol ; hauteur des lampadaires 4 m). Elle montre que les espèces de chauves-souris de milieux encombrés volent moins souvent vers les lampadaires (quel que soit l'un des 3 spectres), que vers les lampadaires témoins non éclairés, tandis que les espèces des lisières volent plus souvent vers les lampadaires blancs et verts. Cependant, les espèces des lisières avaient une probabilité plus faible de traverser complètement une zone éclairée (20 m de part et d'autre du lampadaire) en présence de lumière blanche et, dans une moindre mesure, de lumière rouge. L'étude montre également que les espèces des espaces ouverts et des lisières (les groupes *Eptesicus/Nyctalus* et *Pipistrellus*, respectivement) sont plus actives à proximité des lumières blanches et vertes, ainsi que dans une moindre mesure, des lumières rouges pour le groupe *Pipistrellus*, par rapport aux sites de contrôle non éclairés (pour les Pipistrelles cette information est nouvelle et pas totalement expliquée). En revanche, les espèces des milieux encombrés (groupe *Myotis/Plecotus*) sont beaucoup moins actives en présence de lumière artificielle, quelle que soit sa couleur. L'action de la lumière rouge sur les chauves-souris de milieux encombrés vient à l'encontre de précédentes études.

L'étude montre également l'apport de la trajectographie par rapport à la simple détection d'activité. Cette dernière ne permet pas de voir l'action de la lumière sur le déplacement des chauves-souris.

NB : hypothèse Athena-lum : la forte lumière rouge des LED (non monochromatique) est susceptible de blanchir les bâtonnets et d'empêcher le repérage visuel des chiroptères (d'où des réaction d'évitement ?).

Les chauves-souris se réfugient dans des milieux encombrés lorsqu'elles sont exposées à des lumières blanches et rouges la nuit (Barré et al., 2021). L'étude montre que les chauves-souris chassant en espace ouvert, en lisière et en espace encombré modifient fortement leurs schémas de vol en augmentant leur probabilité de voler en direction de la forêt lorsqu'elles s'approchent de lampadaires blancs et rouges placés en lisière de forêt. Ces changements de comportements se produisent principalement du côté des lampadaires où la lumière est dirigée. L'étude montre comment les chauves-souris profitent des éléments du paysage pour échapper à la lumière (éclairage de 8,7 +/- 3,0 lux au sol ; hauteur des lampadaires 4 m).

Faible impact de deux couleurs de LED sur l'abondance des insectes nocturnes et l'activité des chauves-souris dans un environnement périurbain (Bolliger, 2020). Cette étude observe les effets sur la présence de chauves-souris et d'insectes le deux types de LED : des LED blanches à 2700 K et des LED blanches à 6500 K (de même flux lumineux) dans

un environnement péri-urbain. Les chauves-souris, principalement *Pipistrellus pipistrellus*, n'ont pas répondu de manière différente par rapport aux deux sources de lumière contrairement aux attentes issues de la littérature. Les auteurs proposent comme explication l'environnement éclairé depuis des décennies et un potentiel effet répulsif sur les insectes de la lumière très blanche qui expliquerait un effet atténué de cette lumière.

NB : autre explication (Athena-lum) les deux éclairages sont déjà très blancs, d'où l'absence de différence.

Effets de l'éclairage de l'entrée du gîte sur le comportement de sorties de *Pipistrellus pygmaeus* (Downs et al., 2003).

Pour améliorer les comptages en sortie de gîte les chercheurs ont testé différentes couleurs et intensités de lumière. L'intensité de la lumière affecte plus les chauves-souris que la couleur de la lumière. Les résultats les moins perturbants ont été obtenus avec de la lumière rouge qui est, dès lors, proposée pour les comptages.

Le passage d'un éclairage public sodium basse pression à un éclairage LED peut réduire considérablement l'activité et la recherche de nourriture des chauves-souris (Kerbiriou et al., 2020). Cette étude est une critique de l'étude de Rowse qui conclue à une absence de différence (Rowse et al., 2016).

Le passage de l'éclairage public conventionnel aux diodes électroluminescentes modifie l'activité des chauves-souris urbaines (Lewanzik & Voigt, 2016). Des mesures ont été faites en Allemagne sur 46 points lumineux lors de 12 nuits avec des éclairages LED vs lampes à vapeurs de mercure. *Pipistrellus pipistrellus* est l'espèce la plus fréquente ; son activité a été diminuée de 45 % avec les LED. Le type de source lumineuse n'influence pas l'activité de *Pipistrellus nathusii*, *Pipistrellus pygmaeus* et le groupe des *Nyctalus/Eptesicus/Vespertilio*. Les espèces du genre *Myotis* ont augmenté leur activité d'un facteur 4,5 mais le niveau d'éclairage n'a pas eu d'effet. Les résultats suggèrent que les LED sont moins répulsives que les ballons fluo pour des espèces lucifuges comme les *Myotis*.

NB : Aucune information sur le spectre ni la température de couleur des LED expérimentales utilisées !!!

Adapter l'éclairage public pour limiter les impacts de la pollution lumineuse sur les chauves-souris (Pauwels et al., 2021). Cette étude mesure différents paramètres (hauteur de la source, type de source (SHP ou LED 2500-3000 K), niveau d'éclairage, distance de l'éclairage) par rapport au lieu d'activité des chauves-souris le long d'une route ou d'une haie avec des témoins non éclairés dans le PNR du Lubéron. La lumière a un fort effet sur les espèces de milieux encombrés (90 % de réduction d'activité) et parmi les critères mesurés, le niveau d'éclairage était prépondérant. Parmi les options de gestion possibles pour réduire l'effet de la pollution lumineuse nocturne (réduction de la diffusion de lumière en modifiant la hauteur des lampadaires, l'intensité de l'éclairage, la composition spectrale), la suppression des sources lumineuses, ou au moins la réduction de l'éclairage, semble être l'option la plus efficace. Les espèces de milieux encombrés sont toutes affectées négativement par la lumière qu'elle qu'elle soit.

NB : problème dans cette étude : les analyses d'impacts sur les chiroptères sont basées sur des niveaux d'éclairages en lux indépendamment du type de source et de leur spectre.

Aucun effet de la lumière artificielle de différentes couleurs sur *Myotis daubentonii* lors d'une expérience de choix (Spoelstra et al., 2018). Cette étude porte sur le passage des murins dans une canalisation sous une route (canalisation d'1,57 m de diamètre et d'1 m d'eau de profondeur). Différentes lumières ont été appliquées à l'intérieur (blanche, verte et rouge) à une intensité de 5 lux à la surface de l'eau et le passage des chauves-souris a été enregistré. Aucun effet significatif n'a été observé contrairement à ce qui s'observe à l'extérieur dans d'autres études. Plusieurs explications sont avancées par les auteurs ; la spécificité de cette expérience fait que les résultats sont difficilement généralisables.

Réponse des chauves-souris à la lumière de différents spectres : la présence des chauves-souris lucifuges et des chauves-souris agiles est affectée par la lumière blanche et verte, mais pas par la lumière rouge (Spoelstra et al., 2017). Dispositif expérimental avec des luminaires LED de 4m de haut avec 7,6 +/- 1,2 lux au niveau du sol. « Les résultats révèlent une réponse forte et dépendante du spectre pour les espèces *Myotis* et *Plecotus*, qui volent lentement, et pour les espèces *Pipistrellus*, plus agiles, mais pas pour les espèces *Nyctalus* et *Eptesicus*. Les espèces *Plecotus* et *Myotis* évitent la lumière blanche et verte, mais sont aussi abondantes dans la lumière rouge que dans l'obscurité. Les espèces de *Pipistrellus*, agiles et se nourrissant de manière opportuniste, étaient significativement plus abondantes autour de la lumière blanche et verte, probablement en raison de l'accumulation d'insectes, mais tout aussi abondantes dans les transects éclairés par la lumière rouge que dans les transects de contrôle dans l'obscurité. Les espèces de *Myotis* et de *Plecotus* vivant dans les forêts et les espèces de *Pipistrellus* plus synanthropes sont donc moins perturbées par la lumière rouge. ».

L'éclairage des routes dérange les chauves-souris en transit (E. Stone et al., 2009). Les chercheurs ont installé des lampes à sodium à haute pression qui imitent l'intensité et le spectre lumineux des lampadaires le long des itinéraires de déplacement des *Rhinolophus hipposideros*. L'activité des chauves-souris a été considérablement réduite et le début du comportement de transit a été retardé en présence de l'éclairage, sans aucun signe d'accoutumance. Ces résultats démontrent que la pollution lumineuse peut avoir des effets négatifs importants sur la sélection des itinéraires de vol par les chauves-souris.

Économies d'énergie au détriment de la biodiversité ? Impacts de l'éclairage LED sur les chauves-souris (E. L. Stone et al., 2012). Les chercheurs ont installé un dispositif expérimental d'éclairage LED le long d'une haie fréquentée par les chauves-souris. L'intensité de la lumière varie entre 3,6 lux, 6,6 lx et 49,8 lux. Les résultats montrent que les lampadaires à LED provoquent une réduction de l'activité des chauves-souris à vol lent (*Rhinolophus hipposideros* et *Myotis spp.*). Les activités de *R. hipposideros* et de *Myotis spp.* ont été réduites de manière significative, même à des niveaux d'éclairage faibles de 3,6 lux. L'éclairage LED n'a eu aucun effet sur les chauves-souris *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus pygmaeus* et *Nyctalus/Eptesicus spp.* qui volent relativement vite.

L'impact de l'éclairage des grottes sur les chauves-souris (Straka et al., 2020). L'étude porte sur les réactions de 4 espèces (*Rhinolophus mehelyi*, *R. euryale*, *Myotis capaccinii* et *Miniopterus schreibersii*) qui gîtent dans des grottes, à différentes couleurs de LED (blanc neutre, rouge et ambre). Les expériences ont été réalisées aux entrées de grottes et dans des chambres de vol expérimentales imitant l'intérieur des grottes.

Dans la salle de vol, *M. capaccinii* et *M. schreibersii* préféraient la lumière rouge à la lumière blanche, mais ne montraient aucune préférence pour le rouge par rapport à l'ambre, ou pour l'ambre par rapport à la lumière blanche. Dans l'expérience de l'entrée de la grotte, toutes les couleurs de lumière ont réduit l'activité de toutes les espèces émergentes, mais c'est la LED rouge qui a eu l'effet le moins négatif. Les espèces de rhinolophes ont réagi le plus fortement, en refusant de voler quel que soit le traitement de la lumière dans la salle de vol. Ces résultats plaident pour la plus grande prudence pour les éclairages d'entrée de grottes.

La manipulation expérimentale des spectres lumineux révèle l'importance des corridors sombres pour les chauves-souris qui se déplacent (Zeale et al., 2018). Utilisation de radiotracking sur *Rhinolophus hipposideros* pour étudier l'impact sur une femelle de différentes sources lumineuses le long d'une haie utilisée par la chauve-souris pour se déplacer. La haie n'est éclairée que d'un côté. L'activité de *Rhinolophus hipposideros* est diminuée quelque soit la source lumineuse, même la rouge qui était présumée peu dérangeante. La chauve-souris s'est rapidement adaptée en volant de l'autre côté de la haie. La lumière rouge n'a pas eu d'effet sur les autres espèces présentes (*Myotis spp* et *Pipistrellus spp*). Aucun effet du type de lumière n'a été trouvé pour *Nyctalus* ou *Eptesicus spp*. Les auteurs alertent sur les conseils donnés sur différents types de sources lumineuses sans qu'elles n'aient été testées largement.

1.3.8.3 Impact de la modulation de l'éclairage

Les effets de la réduction de l'intensité des lampadaires à LED sur les chauves-souris tolérantes (*Pipistrellus pipistrellus*) et intolérantes (groupe des *Myotis*) à la lumière dans les habitats suburbains (Rowse et al., 2018). Un éclairage à LED pilotable en place est modulé de 0 %, 25 % (moyenne de 11 lux), 50 % (moyenne de 20 lux) et 100 % de sa puissance nominale.

50 et 100 % augmentent l'activité de *P. pipistrellus* et réduisent celle des *Myotis*. Comparativement à 0 %, 25 % n'affecte pas de manière significative ni *P. pipistrellus* ni les *Myotis*. Ces résultats indiquent qu'il devrait être possible d'éclairer grâce à la modulation tout en préservant les espèces sensibles. Il est probable que les faibles intensités lumineuses permettent de préserver des passages sombres à proximité des luminaires.

1.3.8.4 Impacts spécifiques sur les chauves-souris en migration saisonnière

Les chauves-souris en migration sont attirées par la lumière rouge mais pas par la lumière blanche chaude : implications pour la protection des migrations de chauves-souris (Voigt et al., 2017). Cette étude est basée sur un protocole expérimental de LED de différentes couleurs placées sur un axe migratoire de chauves-souris. Les LED rouges et blanc chaud sont allumées alternativement avec une séparation d'un moment sans lumière. Lorsque les LED rouges étaient allumées, une augmentation de l'activité de vol pour *Pipistrellus pygmaeus* et une tendance à une plus grande

activité pour *Pipistrellus nathusii* ont été observés (sans que cela ne soit lié à la chasse d'insectes). Lors de l'exposition aux LED blanc chaud, l'activité générale de vol vers la source lumineuse n'a pas augmenté, mais il a été observé une augmentation de l'activité de recherche de nourriture directement à la source lumineuse par rapport au contrôle dans l'obscurité (lié à la recherche de nourriture).

L'attraction aux LED rouges en période de migration correspondrait un phénomène de phototaxie. Les auteurs alertent sur les risques pour les chauves-souris en migration des lumières rouges des éoliennes et des risques de collisions accrues.

Les chauves-souris migratrices répondent à la lumière verte artificielle par une phototaxie positive (Voigt *et al.*, 2017).

Étude conduite sur la côte de la mer baltique en période de migration.

NB : la lumière est produite par un laser relié à une fibre optique (longueur d'onde monochromatique (?) de 520 nm). Les chercheurs avancent plusieurs hypothèses : la lumière artificielle peut interférer avec la perception des indices célestes ou avec l'utilisation d'autres modalités sensorielles telles que l'écholocation. Par ailleurs, les chauves-souris migratrices peuvent également inspecter le nouveau stimulus qui leur est présenté sur leur trajectoire de vol.

1.3.9 Quelques publications de synthèse sur les chiroptères et la lumière artificielle

Les chauves-souris et l'éclairage au Royaume-Uni (Fure, 2006). Ce rapport résume les études sur la vision des chauves-souris, examine la fonction des bâtonnets dans la rétine des chauves-souris, la sensibilité des bâtonnets à la lumière visible, leur plus grande tolérance à la lumière rouge visible, leur sensibilité à la lumière ultraviolette, et explore les différences qui existent entre les différentes espèces. Il traite de la lumière artificielle, y compris les torches, les éclairages de sécurité et les projecteurs, et passe en revue les études régionales et nationales entreprises, principalement par les membres du Bat Group. Il présente un tableau des études spécifiquement entreprises pour informer les demandes de planification pour l'éclairage par projecteurs à Londres en vertu des règlements sur les habitats de 1994 et de la directive de planification PPS9. Le rapport examine les types d'atténuation qui ont été utilisés dans les zones fréquentées par les chauves-souris ; il résume l'état des savoirs et remet en question les écarts par rapport aux bonnes pratiques et appelle à une approche de bon sens pour l'avenir.

Les chauves-souris et la pollution lumineuse (Patriarca & Debernardi, 2010) et Chauves-souris et éclairage. Aperçu des données actuelles et des mesures d'atténuation (E. Stone, 2013). Rapports sur l'impact de la lumière artificielle sur les chauves-souris ; un peu anciens mais synthétiques et pertinents.

L'obscurité, ça compte : Les effets de l'éclairage artificiel sur les chauves-souris (Rowse, Lewanzik, *et al.*, 2016) et Impacts de l'éclairage artificiel sur les chauves-souris : Un examen des défis et des solutions (Stone *et al.*, 2015). Articles de synthèse qui pointent l'effet de l'arrivée des LED sur les chauves-souris.

Thèse sur la prise en compte des effets de la pollution lumineuse sur la biodiversité dans les mesures de conservation : défis et perspectives. Étude de cas des espèces de chauves-souris européennes (Mariton, 2023).

Les chauves-souris ont été prises comme espèces indicatrices. Les données du programme Vigi-chiro ont montré, sur 9807 nuits d'enregistrement, que les chauves-souris se répartissent en 3 groupes : les crépusculaires, en cœur de nuit ou intermédiaires avec des variations en fonction des saisons. Même les espèces qui émergent tôt, et qui sont réputées tolérantes à la lumière, sont sensibles à la lumière artificielle nocturne. *Eptesicus serotinus* retarde ainsi son activité en présence de lumière et dans une moindre mesure, en présence de la lune. La thèse revient également sur l'étude des données de Rowse publiée dans Kerbiriou *et al.*, 2020.

Préservation des chiroptères et isolation thermique des bâtiments (Nowicki, 2018). Rapport qui pointe les différents problèmes, notamment la sensibilité à l'éclairage des différentes espèces, et donne des recommandations.

Thèse sur « Pollution lumineuse & biodiversité : Quels sont les leviers d'action pour limiter l'impact de l'éclairage artificiel sur la faune nocturne ? » (Pauwels, 2018). Le travail montre un effet négatif global de l'éclairage artificiel sur les chauves-souris. Elle souligne la nécessité de prendre en considération les éclairages privés.



2 L'impact de la lumière sur les milieux aquatiques

Influence de l'intensité lumineuse et de la composition spectrale de la lumière artificielle nocturne sur la sécrétion de la mélatonine et l'expression de l'ARNm des gonadotrophines chez le gardon *Rutilus rutilus* (Brüning *et al.*, 2018). Les chercheurs se sont intéressés à l'influence de la lumière à différentes intensités (0,1 lux, 10 lux et 100 lux) et à différentes couleurs sur le rythme quotidien de la sécrétion de mélatonine et l'expression de l'ARNm des gonadotrophines chez le gardon. Ils ont mis en évidence que la sécrétion de mélatonine était déjà significativement diminuée à 1 lux de lumière blanche, ainsi qu'avec d'autres couleurs. L'étude conclue que la lumière artificielle nocturne peut perturber les rythmes de sécrétion de la mélatonine chez le gardon à de très faibles intensités et à différentes longueurs d'onde et que la pollution lumineuse dans les eaux urbaines peut donc avoir un impact sur les rythmes biologiques des poissons.

Vie et mort de la manne blanche des riverains de la Saône (Césard, 2010). Cet article de la revue « Études rurales » s'intéresse aux émergences d'éphémères au bord de la Saône et à ses relations avec les populations locales. Les émergences massives d'adultes ont lieu en juillet ou en août. Les femelles sur le point de pondre sont attirées par la lumière, ce qui crée des nuisances dans les villes et villages éclairés, la quantité d'insectes donnant par sa densité l'impression d'une tempête de neige qui recouvre les rues et rends la chaussée glissante. Ces masses d'insectes ont été exploitées sous le nom de manne blanche comme engrais ou comme nourriture à poissons ou oiseaux. Une petite activité commerciale spécialisée a eu son apogée au début des années 60 : les insectes étaient attirés par des projecteurs en bord du cours d'eau. Les familles collectaient chacune par an entre 500 kilos et 1 tonne qu'elle revendaient comme revenu d'appoint. A partir de la fin des années 60, les émergences connaissent un déclin sévère.

L'eau sous éclairage artificiel : la pollution lumineuse est-elle significative pour les producteurs primaires aquatiques ? (Grubisic, 2018). L'étude s'intéresse aux producteurs primaires aquatiques, tels que les microalgues, les cyanobactéries et les plantes, qui ont rarement été étudiés. Elle met en évidence que l'exposition à l'éclairage artificiel nocturne, en particulier par des lumières LED blanches, peut affecter profondément la biomasse et la composition de la communauté des producteurs primaires. Les résultats observés tendent à montrer que d'autres mécanismes que la photosynthèse sont activés par cette lumière.

Impact des différentes longueurs d'onde de la lumière artificielle nocturne sur la phototaxie des insectes aquatiques (Kühne *et al.*, 2021). Un des effets de la lumière artificielle nocturne est son fort pouvoir d'attraction sur les insectes. Les stades adultes (imago) des insectes aquatiques seraient plus attirés et donc plus vulnérables que les imagos des insectes terrestres ce qui est préoccupant du fait de la proximité souvent forte entre l'habitat humain et les milieux aquatiques. Les chercheurs sont partis du constat que l'impact sur les stades larvaires aquatiques ainsi que sur les espèces qui passent toute leur vie dans l'eau a été peu étudié. Ils ont analysé l'influence des différentes longueurs d'ondes de la lumière. Comme les imagos, ils présentent une attraction à la lumière très prononcée mais contrairement à ces derniers l'effet des courtes longueurs d'ondes n'est pas prépondérant. C'est plutôt les longueurs d'ondes dans le vert jaune qui étaient les plus attractives.

L'éclairage artificiel nocturne dans les habitats d'eau douce et ses effets écologiques potentiels (Moore *et al.*, 2006). Les chercheurs ont mesuré la lumière à la surface de lacs aux États Unis selon un gradient d'urbanisation. Ils ont mesuré une augmentation significative de la lumière avec la couverture nuageuse. Ils estiment que les organismes les plus susceptibles d'être affectés incluent le zooplancton et les poissons qui migrent verticalement la nuit, les insectes et les crustacés qui dérivent sur le courant la nuit et les organismes qui se calent sur les cycles lunaires. Leurs observations ainsi que la littérature scientifique les conduit à penser que la lumière artificielle altère les déplacements, la démographie et les succès d'hivernage de certaines espèces.

Les effets de l'éclairage artificiel sur les insectes aquatiques et terrestres adultes (Perkin *et al.*, 2014). Les chercheurs ont voulu vérifier l'impact de la lumière artificielle sur la dispersion des adultes d'insectes aquatiques. Ils ont installé des pièges à différentes hauteurs et à différentes distances de luminaires à sodium haute pression successivement allumés puis éteints. Ils ont capturé 27 fois plus d'insectes à proximité des luminaires allumés qu'à proximité des luminaires éteints, principalement des diptères. Ils ont capturé plus d'insectes par heure et par m² que la quantité d'insectes qui ont émergé sur la même unité de temps et de surface. Ces résultats suggèrent que la lumière artificielle nocturne affecte négativement la dispersion des insectes aquatiques et que ce point devrait être pris en compte dans les aménagements



urbains.

Les ponts éclairés sont des pièges doubles pour les éphémères *Ephoron virgo* en émergence nocturne : interaction de la pollution lumineuse polarisée et non polarisée (Szaz *et al.*, 2015). Cette étude met en évidence le rôle moins connu de la lumière polarisée sur l'attraction des insectes. La lumière polarisée est un deuxième type de pollution lumineuse qui incite les insectes cherchant l'eau à se poser sur des surfaces artificielles lisses et sombres qui imitent la signature de polarisation des étendues d'eau naturelles. Les chercheurs ont étudié le phénomène sur un pont éclairé au dessus du Danube qui attire en masse des éphémères qui viennent pondre sur l'asphalte ; ils ont mis en évidence que les deux types de lumières artificielles (polarisées et non polarisées) attireraient les éphémères ; ils ont analysé le rôle prépondérant de l'une et de l'autre en fonction de différents paramètres.

L'approche sociale et la transdisciplinarité

L'environnement nocturne, ce bien précieux (Barré et al., 2023). *« Longtemps reléguée à un problème ne concernant que les astronomes, encore méconnue du grand public il y a peu, la pollution liée à l'éclairage artificiel nocturne est devenue « l'affaire de tous ». Ses effets négatifs recouvrent une multiplicité d'enjeux – énergétiques, écologiques, culturels et sanitaires – dont on prend la mesure progressivement. Sauver l'obscurité requiert ainsi une nouvelle approche, qui tient compte de ces différentes problématiques mais aussi des besoins humains en matière de lumière artificielle. Un équilibre difficile, que nous travaillons à atteindre dans le cadre de nos recherches sur l'île de La Réunion depuis deux ans. »*

Au sein du CNRS, un Observatoire de l'environnement nocturne pour accompagner la territorialisation de la lutte contre la pollution lumineuse (Challéat *et al.*, 2022). L'article rappelle la portée du problème de la pollution lumineuse avec ses implications énergétiques, culturelles, sociales, écologiques et sanitaires. Il pointe les limites d'une approche centrée sur la protection du ciel étoilé et montre l'intérêt de prendre en compte les enjeux écologiques et la qualité de vie dans des territoires « ordinaires » (par opposition à des territoires protégés exceptionnels). Cette extension implique de considérer les besoins humains et non-humains d'obscurité dans des territoires habités au regard des besoins humains de lumière artificielle. L'objet « environnement nocturne » est le dénominateur commun d'une équipe transdisciplinaire de chercheurs et de praticiens au sein de l'Observatoire de l'environnement nocturne qui vise à réfléchir, agir et susciter le débat au sein des territoires sur la question du couple lumière/obscurité.

Saisir l'obscurité : le réseau écologique sombre comme cadre socio-écologique pour limiter les impacts de la pollution lumineuse sur la biodiversité (Challéat *et al.*, 2021). Le concept de "réseau écologique sombre" permet d'appréhender les effets d'ALAN en termes de perturbations de l'habitat ; il intègre les dimensions temporelles des processus écologiques dans la planification de la conservation de la biodiversité. « D'un point de vue opérationnel, l'enjeu est de traduire les leviers de réduction des effets induits par ALAN en une méthode politique de "territorialisation". Pour atteindre cet objectif, nous proposons une démarche qui consiste à construire un répertoire interdisciplinaire de connaissances contextualisées (ex : impacts sur la faune, relation homme/paysage lumineux, outils juridiques existants, etc.), afin d'en déduire un certain nombre de supports pratiques pour la gouvernance du réseau écologique de l'obscurité en réponse à des enjeux sociétaux et écologiques. »



DIAGNOSTIC





4 Panorama photographique des différentes situations d'éclairage

Les photos présentées illustrent les principales situations d'éclairage public et privé que nous avons vues à Saint-Fargeau entre février 2023 et juillet 2023. Toutes les photos sont de David Loose/Athena-lum (© David Loose) et sont fournies pour des utilisations non commerciales à la Communauté de communes dans le cadre de ce travail. Sauf mention contraire, le réglage de l'appareil photo est réalisé de telle sorte que la photo restitue ce que nous voyions avec notre vision humaine (ce qui peut être très différent de la vision d'un animal nocturne à capacité de vision beaucoup plus sensible).

4.1 Éclairage public

4.1.1 Centre ville



Ambiances plutôt chaleureuses malgré les lumières un peu froides (3000 K) ; l'éclairage qualitatif rappelle les lanternes anciennes, en cohérence avec le bâti patrimonial. Les niveaux d'éclairagements font l'objet d'un abaissement notable en période de faibles fréquentations.

(place de l'office de tourisme)



4.1.2 Rues structurantes

L'éclairage à lanternes de style. Les niveaux d'éclairagements font l'objet d'un abaissement notable en période de faibles fréquentations.

(avenue du Général Leclerc)



4.1.3 Rues secondaires

Éclairage fonctionnel.

(rue de l'ancienne gare, le long du Loing)



4.1.4 Lotissements

Éclairage fonctionnel et décoratif de lotissement.

(la Croix-Saint-Miche)



4.1.5 Mises en valeur



Mise en valeur du château et du musée du son. D'autres bâtiments patrimoniaux sont également éclairés (beffroi, halle).

4.2 Éclairages privés

4.2.1 Éclairages fonctionnels privés



Façade d'entreprise et parking de supermarché.



4.2.2 Services 24h/24



Station service et station de lavage



4.2.3 Vitrine



Lumière bleutée de la vitrine de l'agence immobilière.

4.2.4 Enseignes



Différentes enseignes.



4.2.5 Activités de loisir / restauration



Centre de vacances au bord du lac du Bourdon (luminosité augmentée) et restaurant au centre bourg.

L'éclairage public est globalement très qualitatif. Certains éclairages privés dénotent un peu dans le paysage nocturne. Néanmoins, il y a très peu de publicités et peu d'enseignes lumineuses. Nous avons également noté l'absence de panneaux lumineux d'informations communales comme on en voit dans beaucoup de communes.

5 Cartographie et caractérisation des points lumineux

5.1 Relevés de terrain

Le Syndicat Départemental d'Énergies de l'Yonne (SDEY) nous a transmis sa base de données SIG des points lumineux d'éclairage public. Cette base comporte de nombreuses informations, notamment la marque et le modèle du dispositif lumineux, la hauteur de pose, le type de source, pour certains, la puissance et plus rarement, la température de couleur.

Le syndicat nous a également donné un accès aux informations sur la gestion de l'éclairage. En effet une grande partie des luminaires est connecté ; la gestion des durées d'éclairage et des abaissements se fait via l'application « Interact » de Signify par l'élu référent en éclairage public .

Sur la base de ces données, nous avons réalisé les mesures de terrain courant février 2023 avec le protocole de relevés que nous avons développé. Tous les types d'éclairages identifiés dans la base de données du SDEY ont été échantillonnés et nous avons également mesuré les paramètres lors des abaissements en milieu de nuit.

Concernant les éclairages privés, nous n'avions pas d'informations précises à l'amont et nous avons donc réalisé des relevés de sites d'entreprises privées accessibles, ou à partir de la voie publique,

Attributs de la couche SIG

Attributs issus du SIG de terrain :

- numéro unique « IdAL »
- date et heure du relevé
- coordonnées géographiques
- norme (indique s'il s'agit d'une mesure normée au sol)
- hauteur du mât
- « LuxNorm5 » éclairage calculé à 5 m de la source à partir de l'éclairage au sol pour comparer les émissions lumineuses
- acteur (public ou privé)
- type d'éclairage selon la typologie de l'arrêté du 28/12/2018
- type de source
- type de luminaire
- évaluation de l'ULR (non mesurable sur le terrain)
- type de mât
- notes éventuelles

Attributs issus du spectrophotomètre (en anglais) :

- Title (titre)
- Tcp(K) (température de couleur en Kelvins)
- Illuminance (éclairage en lux)
- Peak wavelength (longueur d'onde dominante en terme d'émission radiométrique)
- dominante wavelength (longueur d'onde dominante en terme de vision humaine)
- CRI (indice de rendu des couleurs)

en fonction des situations que nous avons observées sur le terrain.

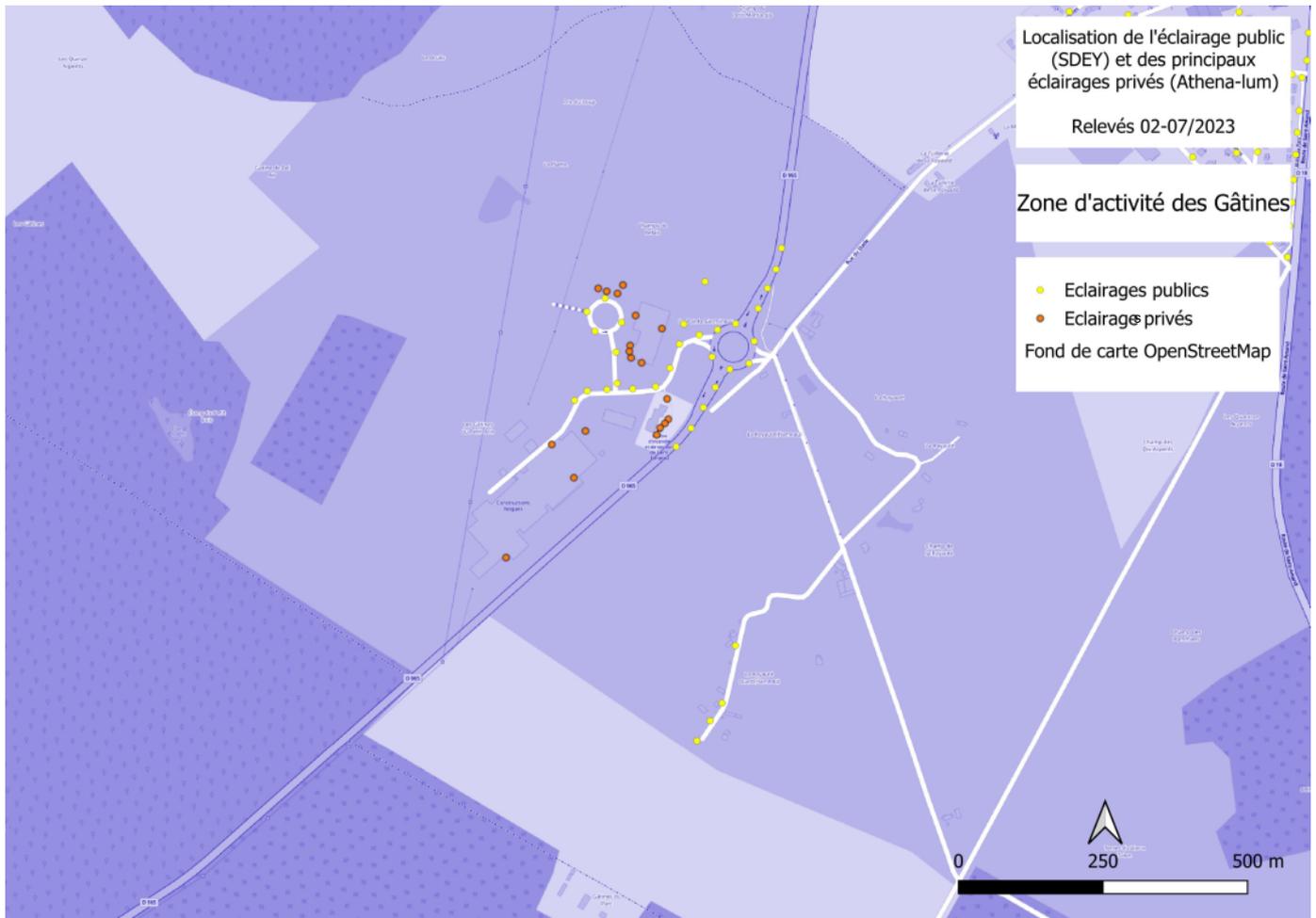
Chaque point lumineux a été pointé sur une application SIG portable paramétrée avec des champs de saisie. Une mesure au spectrophotomètre apporte les informations sur la température de couleur, le niveau d'éclairement, l'indice de rendu de couleur et la répartition spectrale. Une mesure de hauteur au télémètre laser permet la comparaison des sources indépendamment de la hauteur de pose, ce qui est important pour les espèces qui volent comme les chiroptères. La dispersion de lumière, non mesurable sur le terrain, a été évaluée et classée en trois catégories (bon, moyen, mauvais). Les données SIG de nos relevés ont été fusionnées avec les données SIG du SDEY. Lorsqu'une série de points étaient identiques, nous n'avons pas réalisé toutes les mesures mais nous avons extrapolé les niveaux d'éclairement. Les données sont fournies en annexe au rapport (couches et format Qgis project) ainsi que les données spectrales. Les points lumineux privés n'ont pas fait la plupart du temps l'objet de mesures précises qui auraient nécessitées l'accord du propriétaire pour entrer sur son terrain.

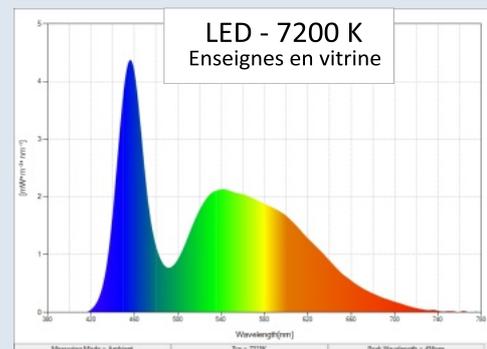
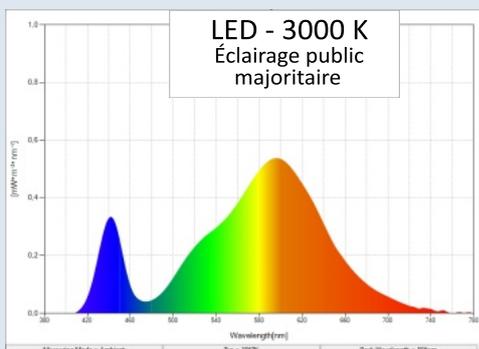
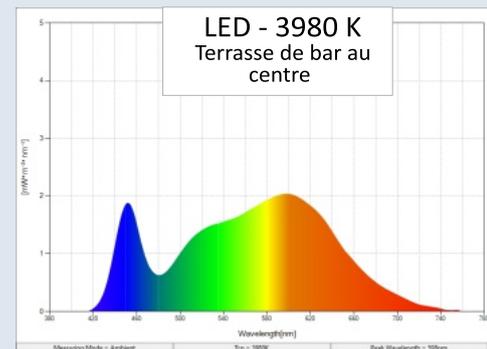
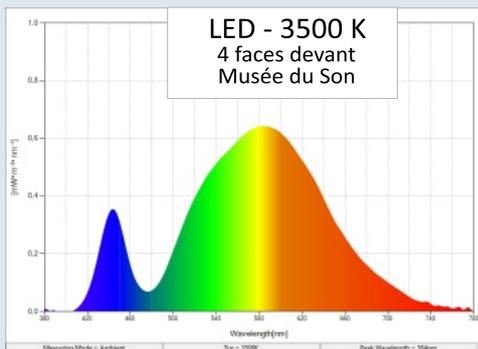
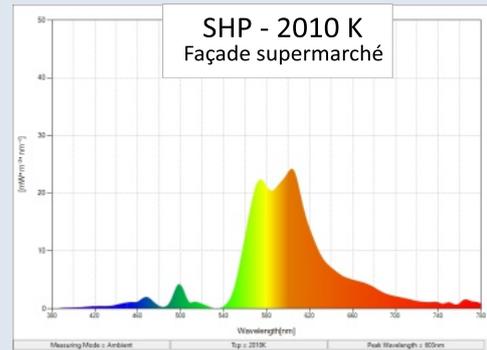
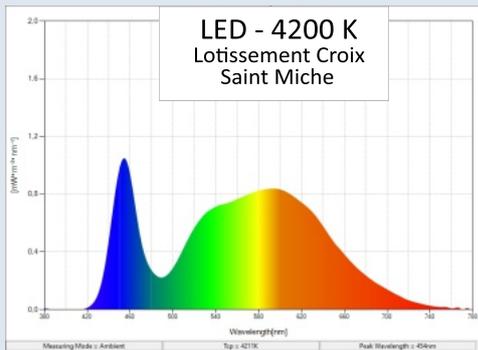
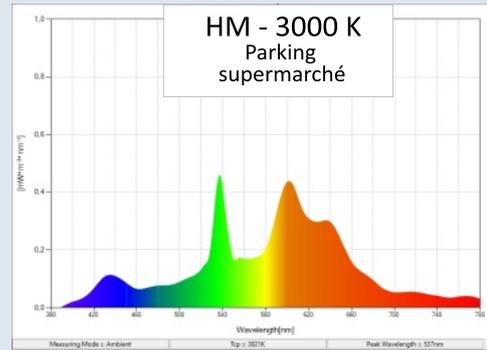
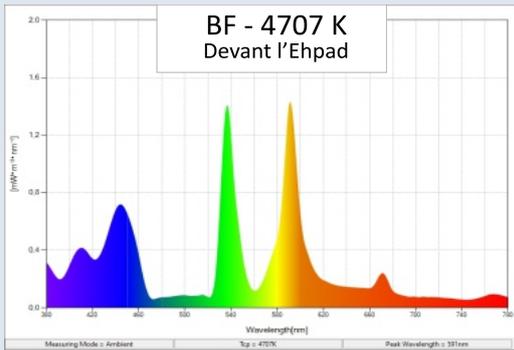
192 sources lumineuses ont ainsi été pointées sous SIG et mesurées (si accessibles et allumées) ; 32 points, situés dans des domaines privés ou assimilés (SDIS par exemple) n'ont pas été mesurés ou mesurés partiellement.

Deux fichiers SIG en format shape sont fournis : le fichier du SDEY complété par les mesures issues de notre échantillonnage ainsi que le fichier de nos mesures d'éclairages privés.

Les 3 cartes ci-dessous montrent la localisation des points lumineux ; le tableau des spectres mesurés donne un aperçu de la diversité des sources.







Spectres de différentes sources mesurées à Saint-Fargeau (partie visible pour l'œil humain)
 Plus la température de couleur (en Kelvins) est importante, plus les sources comportent des courtes longueurs d'ondes dans le bleu, nocives pour le vivant (cf § 5,5).

Sodium haute pression = SHP, diode électroluminescente = LED, halogénure métallique = HM, vapeur de mercure haute pression = BF.

5.2 Gradation des niveaux d'éclairage

L'éclairage public bénéficie, depuis sa rénovation en LED, d'un système connecté par le réseau de téléphonie mobile. Il se pilote grâce à une application logicielle dédiée qui permet de gérer à distance chaque luminaire et définir des programmes d'abaissement de lumière à la carte.

La commune a défini plusieurs programmes d'abaissement (voir graphe en annexe issus de la plate-forme du logiciel) :

- le programme « **économies d'énergies** » semaine

75 % du flux à l'allumage → 10 % à partir de 21h → 5 % à partir de 23h → 75 % à partir de 6h

- le programme « **économies d'énergies** » week-end,

75 % du flux à l'allumage → 10 % à partir de 21h → 5 % à partir de 23h → 1 % à partir de 1h → 75 % à partir de 6h

- le programme « **nuits noires** »,

75 % du flux à l'allumage → 5 % à partir de 19h → 1 % à partir de 20h → 0 % à partir de 22h → 75 % à partir de 6h

- le programme « **nuits noires spectacles château** »,

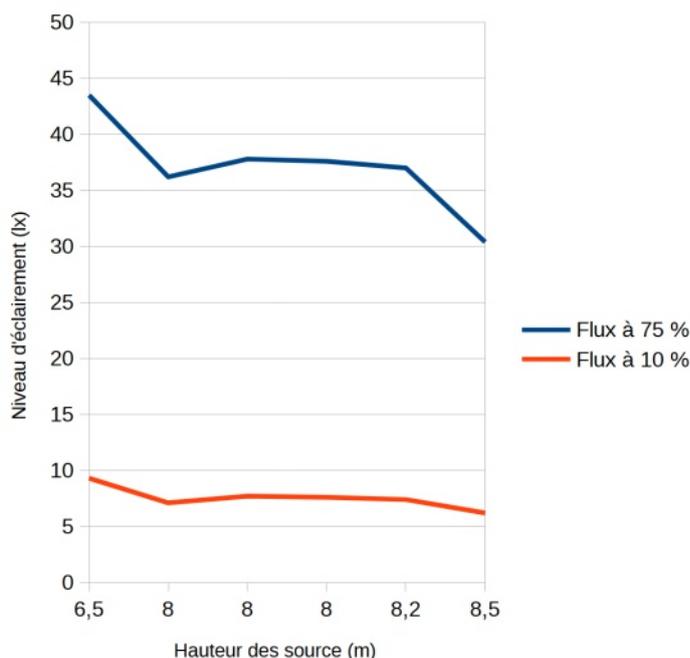
75 % du flux à l'allumage → 0 % à partir de 1h30h → 75 % à partir de 6h.

Moyenne des éclairagements mesurés au sol avant 21h : 48 lux

Moyenne des éclairagements mesurés au sol après 21h : 7,5 lux

A titre de comparaison, le niveau d'éclairage pour les personnes à mobilité réduite ne doit pas dépasser 20 lux en tous points du cheminement pour éviter toute gêne et éblouissement.

Les niveaux d'éclairage sont directement liés à la hauteur de pose de la source lumineuse. La quantité de lumière décroît au carré de la distance, plus la hauteur de la source lumineuse est basse, plus le niveau d'éclairage est donc important. Le graphe montre, sur un échantillonnage de 6 points lumineux mesurés, les niveaux d'éclairages en fonction de la hauteur de pose pour un flux à 75 % et à 10 %.



La carte suivante permet de visualiser les pratiques d'abaissement en fonction des secteurs (NB : les éclairages de la ZA des Gâtines ne sont pas connectés, donc non concernés).



5.3 Description des dispositifs lumineux

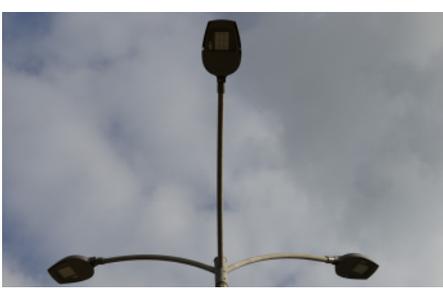
5.3.1 Dispositifs d'éclairage public

Les différents modèles ont été identifiés grâce à la base de données du SDEY et photographiés sur le terrain. Ils sont illustrés ci-dessous, du plus courant au plus anecdotique. Ils sont listés et décrits dans les tableaux suivants.

5.3.2 Dispositifs d'éclairage privé

Le panorama photographique des installations privées (hors particuliers) du § 1 montre différents dispositifs :

- des spots en façade, dont le rôle est d'éclairer les abords du bâtiment (bâtiments industriels ou commerciaux, restaurants) ; différentes sources ont été identifiées et, pour certaines, mesurées : SHP 1800 K, LED 3000 K et 3800 K.
- des luminaires de type routiers fonctionnels à LED entre 3000 K et 7000 K (parking du supermarché, parking d'entreprises industrielles, abords de la station de lavage de voitures),
- des plafonniers à tubes LED jusqu'à 6000 K (station de service, station de lavage)
- des enseignes lumineuses éclairées par projection ou lumineuses par elles-mêmes,
- des panneaux numériques LED en vitrine (agence immobilière).

Nombre	Marque-modèle	Type	Source	Localisation	Eval. ULR	Photo
285	Eclatec Tweet S2	Fonctionnel	LED 3000 K	En périphérie du Centre-ville	bon	
137	GHM – Beauregard II	Style 4 faces	LED 3000 K	Centre-ville	bon	
30	Eclatec – Paleo	Fonctionnel	SHP 1800 K	ZAE	bon	
24	Philippis Stela	Citadin	LED 4200 K	Lotissement de la Croix-Saint-Miche	bon	
20	Eclatec – Stellium S2	Fonctionnel	LED 3000 K	Diverses rues périphériques	bon	
14	JLC Lightning – Lux-30 LED et Lux-50 LED	Encastrés	LED 3200 K	Autour du musée du son	mauvais	

Nombre	Marque-modèle	Type	Source	Localisation	Eval. ULR	Photo
10	Strip Smart Light	Réglettes	LED 4000 K	Musée du son	bon	
7	JLC Lightning FVA 6000 lm	Style 4 faces	LED 3600 K	Place du musée du son	bon	
7	Eclatec Tweet S1	Fonctionnel	LED 3000 K	Principalement le Long du Loing	bon	
7	Inconnue	Projecteurs	SHP 1800 K	Mise en valeur du château et du beffroi	mauvais	
6	Eclatec Trek	Bornes de balisage	LED 3000 K	Vers le ruisseau	bon	
5	Schreder Alura	Citadin	HM 3000 K	Jardin de la maison de retraite (privé mais géré Par le SDEY)	moyen	

Nombre	Marque-modèle	Type	Source	Localisation	Eval. ULR	Photo
4	<i>Thorn Avenue LED</i>	Citadin	LED T° de couleur inconnue	A coté du HLM	bon (a priori) car non vu en fonctionnement	
3	<i>Comatelec Falco</i>	Fonctionnel	HM 4700 K	Autour maison de retraite	bon	
1	<i>Comatelec Omniflood</i>	Projecteurs	LED T° de couleur inconnue Non vu en fonctionnement	Terrain de sport	moyen	
1	<i>Comatelec Hapiled</i>	Citadin	LED 3000 K	Lotissement de la Croix-Saint-Miche	moyen	

6 Historique et analyse des actions engagées par la commune sur le parc d'éclairage public

L'histoire locale nous raconte que Saint-Fargeau serait le premier village de France à avoir reçu l'éclairage électrique grâce à une machine à vapeur située dans un bâtiment du XIX^{ème} siècle, toujours visible sur les bords du ru du Bourdon. (<https://www.cirkwi.com/fr/point-interet/221640-saint-fargeau-premier-village-de-france-a-recevoir-l-eclairage-electrique>)

Malheureusement une bonne dizaine de communes françaises revendiquent également cette distinction et l'histoire de Saint-Fargeau paraît peu documentée sur ce point.

(<http://www.francegenweb.org/blog/index.php?post/2007/12/29/350-le-premier-village-electrifie-de-france>)

L'histoire récente de l'éclairage est marquée par quelques jalons découverts dans la presse et dans les comptes-rendus de conseils municipaux.

2011 - La commune possède plus de 500 points lumineux ; l'enfouissement des réseaux secs a créé une opportunité pour la rénovation de l'éclairage public avec une amplification à partir de 2016 (« *Les parties les plus anciennes du parc ont cinq ou six ans, maximum. On mène les rénovations avec l'objectif de garder la main sur la lumière, afin de moduler selon les saisons, explique le maire, Jean Joumier. Au moment de Noël ou l'été, pour les spectacles, par exemple.* »). Quelques années avant 2017 « *la municipalité a installé une soixantaine de poteaux à ampoules LED au sud de la commune* » (source : article Yonne républicaine du 11/02/2017).

2016 - Travaux sur la place du Musée : 95.000 €, financé par la commune à hauteur de 58.000 € (projet lauréat du prix du SDEY en 2016) ; cet éclairage est allumé à partir de juin jusqu'à 2h du matin pour le tourisme.

2017 - La commune étend l'éclairage public rue de l'ancienne gare avec des luminaires LED.

2018 - Remplacement de l'éclairage public de l'allée des Platanes.

2019 - Convention avec le Syndicat Départemental d'Énergies de l'Yonne pour la rénovation de l'éclairage public avec télégestion : montant total de l'opération de 486 761,41 € HT (584 113,69 € TTC) et une participation de la commune à hauteur de 146 028,42 €, soit 30 % du montant HT. « *Monsieur le Maire précise que suite aux estimations réalisées, la Commune de Saint-Fargeau pourrait espérer une économie annuelle d'environ 21 000 € sur ses factures d'électricité pour l'éclairage public, soit un temps de retour sur investissement compris entre 6 et 7 ans.* » (compte-rendu du conseil municipal du 1er février 2019).

L'installation en LED a lieu à partir de novembre 2019.

Le transfert de la compétence maintenance de l'éclairage public au Syndicat Départemental d'Énergies de l'Yonne a lieu cette année là. « *La commune de Saint-Fargeau réalise actuellement un programme de rénovation de l'ensemble de son éclairage public avec l'aide du SDEY permettant d'obtenir une maintenance gratuite pendant cinq années sous réserve du transfert de cette compétence* » (compte-rendu du conseil municipal du 10 décembre 2019).

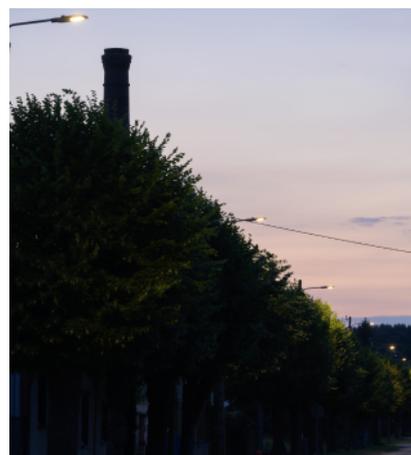
2020 - Octobre marque la fin de l'installation (d'après le tableau de bord de Signify). La nouvelle municipalité élue en mars décide de régler les luminaires connectés à 75 % du flux dès l'allumage, suite aux plaintes des habitants au sujet de l'éblouissement des nouvelles LED. Ce dernier point nous a été confirmé par des habitants lors des ateliers d'avril 2023.



Les photos ci-dessous permettent de visualiser les rénovations sur quelques sites.



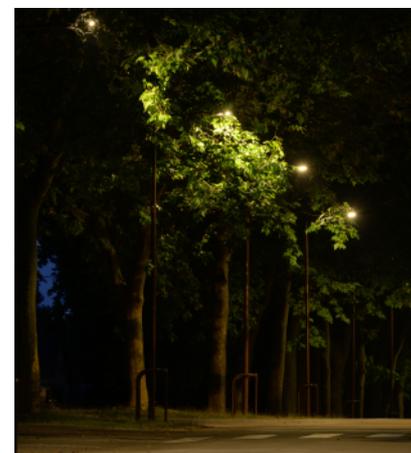
Rue Michel de Toro : les luminaires sodium légèrement inclinés avec vasque ont été remplacés par des têtes de luminaires LED horizontales n'envoyant pas de lumière vers le ciel. Cet effet positif est à mettre au regard de la température de couleur plus froide (3000 K au lieu des 1800-2000 K des sodium) plus défavorable pour le vivant et la diffusion plus importante de la lumière blanche dans l'atmosphère.



Avenue du Général Leclerc : les luminaires de style à 4 faces au sodium avec des vitres à verre dépoli ont été remplacés par des luminaires de même type à LED. Ces derniers, sans vitres latérales diffusent une lumière plus ciblée vers le bas. Comme précédemment cet effet positif est à mettre au regard de la température de couleur plus froide et donc plus défavorable.



Allée des Platanes : cette rue était précédemment peu éclairée et les luminaires étaient de faible hauteur sous la canopée. Les nouveaux éclairages à LED sont beaucoup plus hauts et plus nombreux sur ce secteur écologiquement sensible à proximité du parc.



7 Identification des enjeux socio-économiques et financiers de l'éclairage

7.1 Coût énergétique de l'éclairage public

Au niveau national, l'éclairage public représente environ 40 % des consommations électriques des communes (voir encart) pour 11 millions de points lumineux sur l'ensemble du pays, soit une puissance appelée de 1 300 mégawatts (la puissance d'un réacteur nucléaire ou « tranche » nucléaire).

Ce chiffre comprend de nombreuses installations communales n'ayant pas encore fait l'objet de rénovations, aux puissances surdimensionnées.

ENEDIS « Les Français, les maires et la sobriété énergétique dans leur commune » - octobre 2022

(<https://www.enedis.fr/sites/default/files/documents/pdf/cp-enedis-leclairage-public-baisse-de-20-pour-cent.pdf>)

Pour les maires, la sobriété énergétique c'est le problème numéro 1.

Pour baisser la consommation énergétique, la diminution de l'éclairage nocturne fait consensus. Une large majorité des français (72 %) approuve l'extinction des lampadaires sur la voie publique après 22h.

« Au cours des 15 premiers jours de décembre 2022, Enedis constate une baisse historique de 20% de la consommation de l'éclairage public en France. Alors que chacun cherche les leviers de sobriété, les collectivités mettent en œuvre celui de l'éclairage public, qui représente plus de 40% de leur consommation électrique annuelle. ».

Quelques mois plus tard, ENEDIS constate que la baisse s'en encore accentuée « en mai 2023 nous avons mesuré une baisse moyenne de 35,4% de la puissance appelée liée à l'éclairage public à 2h du matin par rapport à mai 2022 ».

Concernant **Saint-Fargeau**, la commune n'a pas pu nous fournir les données chiffrées des consommations avant rénovation. Une rapide évaluation sur la base de 500 points lumineux estimés à 100W, éteints entre 1h et 6h (soit 1375h d'allumage annuel), donne une consommation de **68 750 kWh/an**.

La plate-forme de suivi de l'éclairage connecté « City Touch » fourni le chiffre annuel (octobre 2022 à octobre 2023) de **37 354,195 kWh**. Ce chiffre ne prend pas en compte les 23 % d'éclairages non connecté (132 sur 562) pour lesquels la base du SDEY ne donne les puissances que pour un tiers des points.

Une extrapolation des consommations sur l'ensemble des 562 points lumineux sur la base de la consommation des points connectés, donne une évaluation à **48 821 kWh/an** pour l'ensemble, soit une **baisse d'environ 30 %** des consommations.

Ces chiffres sont à pondérer avec l'énergie qui aura été nécessaire à la fabrication du nouveau matériel, généralement non prise en compte, ainsi qu'avec les coûts sociaux et environnementaux cachés liés aux extractions de matériaux.

7.2 Besoins socio-économiques en éclairage

Au cours de notre travail, nous avons pu échanger avec plusieurs acteurs et habitants du territoire, même si ces entretiens ce sont avérés plus compliqués que prévu. Ces entretiens nous ont permis d'appréhender différents enjeux autour de l'éclairage extérieur public et privé sur le territoire.

Éclairer pour fournir un service aux usagers

La préoccupation de la commune est de fournir un service qui réponde aux besoins des habitants et des acteurs



économiques. Des habitants que nous avons interrogés nous ont précisé que l'éclairage les rassure et que c'est important pour les déplacements le soir. Il nous a été rapporté un désagrément lors du passage en LED. Les élus sont à l'écoute de leurs administrés et c'est ainsi que la puissance des nouvelles LED a été baissée dès l'allumage à 75 % du flux suite à des plaintes sur leur éblouissement important. Actuellement, l'élus référent peut répondre à des demandes particulières d'habitants concernant des lumières intrusives gênantes, grâce à l'application de l'éclairage connecté.

Nous avons rencontré la Communauté de communes qui gère la zone d'activité des Gâtines et s'assure que l'éclairage réponde aux besoins des entreprises et contribue à l'attractivité de la zone. Lors de notre étude en 2023 l'ensemble des 30 luminaires sodium ne fonctionnaient pas mais cela ne semblait pas poser de problème aux industries concernées.

Les entreprises qui fournissent un service 24h/24 aux usagers, comme la station service, le lavage de voiture ou les distributeurs de billets, ont besoin d'éclairage pour fonctionner.

Éclairer pour être vu

L'éclairage contribue à la visibilité des activités économiques par le biais d'enseignes ou de publicités lumineuses. Le besoin de visibilité est fortement ressorti lors de nos entretiens avec le gérant de la station de lavage de voiture et avec l'agence immobilière. Ces deux acteurs déploient une lumière très blanche qui contraste énormément avec l'éclairage communal ambiant et contribue, de fait, à une visibilité très grande.



Éclairer (ou ne pas éclairer) pour la sécurité des biens

L'éclairage est souvent associé à une protection contre les vols dans le cas de bâtiments non résidentiels ou d'équipements collectifs. Nous avons souhaité discuter avec les gérants de la colonie de vacances Viva qui possède un éclairage très important en bord du lac du Bourdon mais nous nous sommes heurté à une fin de non recevoir de la part du siège de l'entreprise. Nous n'avons pas eu plus de succès de la part des entreprises de la zone des Gâtines qui possèdent des éclairages de façade allumés après 1h du matin.

Un autre point de vue nous a été donné par une habitante du domaine privé de Breuil Ambert. Elle nous a fait part de l'absence d'éclairage dans le hameau dès sa construction en 1976 et elle nous a précisé que sans éclairage le hameau est moins visible de la route et que cela limite les risques de cambriolage.



Éclairer pour l'esthétique

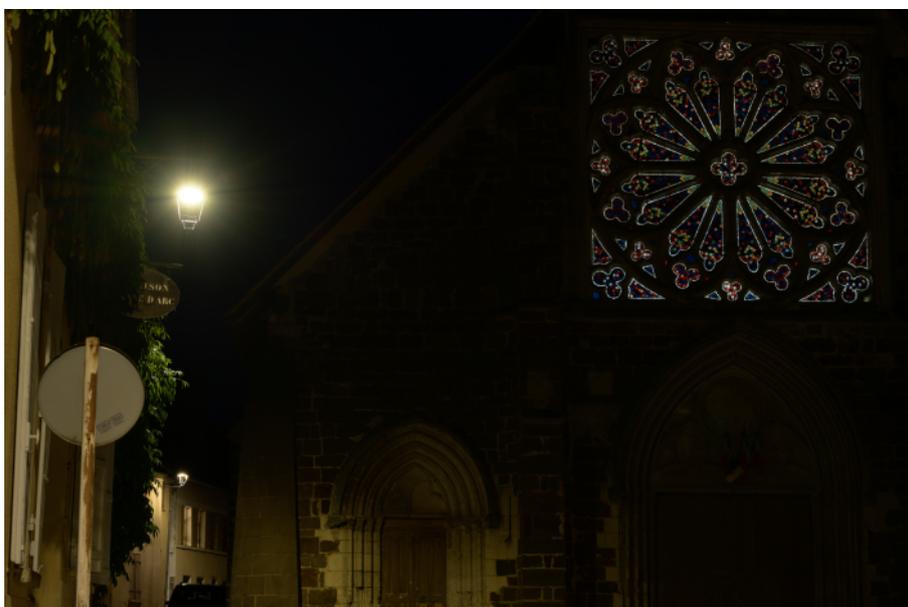
Plusieurs sites sont identifiés au titre des monuments historiques sur Saint-Fargeau : le château, le cimetière, les églises (Saint-Ferréol, Saint-Martin-des-Champs, Saint-Fiacre de Ronchères et l'église de Septfonds) ainsi que la Tour de l'Horloge ou beffroi.

Les habitants de Saint-Fargeau sont attachés notamment à l'identité forte que porte le château et le beffroi. Ces deux monuments sont actuellement éclairés toute la nuit et la gérante de l'office du tourisme nous a confirmé l'importance de la mise en valeur lumineuse de ces monuments. Actuellement la façade de l'entrée du château est éclairée par des projecteurs au sodium qui procurent une lumière orangée semblable à la lumière du coucher du soleil.

L'église Saint-Ferréol est valorisée sans éclairage de façade mais avec un éclairage intérieur des vitraux.

Une rencontre avec le propriétaire du château, en présence de Monsieur le maire, a permis de préciser les attentes vis à vis de cet éclairage :

- il ne doit pas gêner le sommeil des enfants des colonies de vacances, hébergés en été dans le château,
- il ne doit pas éblouir les visiteurs qui sortent du château la nuit suite aux spectacles,
- il doit être simple et sobre.



Éclairer pour la convivialité

L'éclairage est important pour la vie conviviale du village comme nous l'ont confirmé plusieurs acteurs. Les restaurants et les cafés offrent des terrasses éclairées pendant la saison estivale ; une guinguette avec des chapiteaux temporaires est installée au bord du lac du Bourdon de juin à septembre. L'éclairage est également présent sur les campings et le centre équestre des Grilles.



8 Identification des enjeux biologiques et écologiques de l'éclairage

Les cinq facteurs identifiés par Kevin Gaston et ses collègues pour identifier les enjeux écologiques de l'éclairage artificiel nocturne font consensus (Gaston *et al.*, 2012). Nous nous appuyons sur cette grille d'analyse pour évaluer l'éclairage de Saint-Fargeau.

8.1 Secteurs sensibles pour l'identification de continuités à préserver

A l'intérieur d'une zone urbaine éclairée, le maintien de secteurs non éclairés directement est toujours bénéfique pour le vivant, même si peu d'études scientifiques permettent de quantifier les impacts écologiques du fait de la diversité des sensibilités parmi les différentes espèces, leurs milieux de vie et leurs capacités de dispersion. Par ailleurs toute lumière peut être potentiellement visible de loin, soit directement par sa luminance, soit pas sa contribution au halo lumineux qui porte sur des dizaines de kilomètres. La définition de couloirs totalement à l'abri de la lumière artificielle en milieu urbanisé est donc illusoire.

De manière pragmatique et prioritaire, les milieux écologiquement sensibles comme les cours d'eau, les plans d'eau, les grands arbres, les alignements d'arbres ou les parcs urbains doivent être préservés de l'éclairage artificiel nocturne.

Le principal secteur sensible sur Saint-Fargeau est le grand ensemble formé par le **parc du château avec ses zones en eau, ses prairies et ses boisements et sa continuité vers le lac du Bourbon**. A l'exception de quelques spectacles annuels, le parc du château est préservé de l'éclairage direct et constitue une zone à l'abri de l'éclairage direct pour de nombreuses espèces. Les grands arbres en périphérie constituent un écran de protection contre la lumière artificielle environnante. Ces secteurs sont particulièrement importants pour les colonies de chauves-souris présentes dans le château. Le lac du Bourbon, en revanche, subit la lumière intense et continue du centre du vacances Viva ainsi que la lumière ponctuelle du restaurant.



La commune est traversée par des **cours d'eau** : le Loing ainsi que son affluent, le ru du Bourbon. Au sein des zones urbaines, les cours d'eau sont le support de vie pour de nombreuses espèces terrestres et aquatiques et l'éclairage nocturne dégrade leurs fonctions écologiques. Le Loing est relativement préservé des éclairages directs, à l'exception de la demi-douzaine de luminaires installés le long de la rue de l'ancienne gare qui éclairent l'eau. Le ru du Bourbon, en revanche, traverse toute la zone urbaine ; il est par endroit très artificialisé et il subit des éclairages variés.



Au sein du tissu urbain, la commune possède quelques **continuités de grands arbres**, plus ou moins dégradées. L'allée des Platanes est constituée de grands arbres dont les frondaisons sont relativement protégées de la lumière grâce à la qualité des luminaires installés. Le champ de foire constitue également un îlot de grands arbres dans le milieu urbain ainsi que la partie aval du ru du Bourdon. En revanche la taille sévère des platanes de l'avenue de la Grande Demoiselle et des tilleuls de l'avenue Michel de Toro est moins propice à fournir un milieu protégé de la lumière artificielle.



L'avenue du Général Leclerc : la partie supérieure de la frondaison n'est pas soumise à la lumière directe

La particularité de Saint-Fargeau est également d'avoir, au sein de la ville, un **tissu de jardins privés arborés** parfois de taille assez importante. Ces milieux sont protégés de l'éclairage public (pas toujours des pratiques d'éclairages privés) ; ils sont écologiquement moins dégradés par l'éclairage nocturne et offrent des conditions de vie plus favorables à la flore et la faune. Ces réseaux de jardins permettent probablement à des espèces sensibles à la lumière comme les murins à oreilles échancrées de rejoindre leurs territoires de chasse à partir de leurs gîtes. Nous avons également localisé, grâce à un détecteur à ultra-sons, un oreillard sp, autre espèce très sensible à la lumière, dans une trouée entre deux luminaires à proximité d'un jardin.



Rue du Tripot : une trouée plus sombre entre deux luminaires distants crée des conditions favorables sur la route de vol des murins à oreilles échancrées



8.2 Temporalité de l'éclairage

Pour différentes raisons liées aux besoins humains de lumière, la commune a souhaité revenir sur la décision d'extinction généralisée de l'éclairage entre 1h et 6h, qui avait été mise en place avant la rénovation en LED. Cette dernière a permis, en revanche, de diminuer fortement l'intensité de l'éclairage public en milieu de nuit, à partir de certaines heures en fonction des endroits (cf § 5.2).

Pour beaucoup d'espèces nocturnes et crépusculaires, comme les chauves-souris et les insectes, il a été montré que les heures où leur activité était le plus impactée par l'éclairage (premières et dernières heures de la nuit) coïncidaient malheureusement avec les heures où les humains avaient besoin de lumière. La durée du jour est un déterminant important pour des processus comme le déclenchement de la migration, de l'hibernation ou de la phénologie des plantes, et la lumière artificielle vient perturber ces signaux.

La persistance de l'éclairage public, malgré un abaissement qui peut paraître important à nos médiocres capacités de vision nocturne, est donc un facteur écologique défavorable. Les stimuli visuels de l'éclairage après abaissement peuvent encore être très puissants pour des espèces aux capacités visuelles nocturnes importantes.

En ce qui concerne l'éclairage privé, plusieurs entreprises de la commune éclairent toute la nuit de manière notable. La législation n'apporte pas toujours une réponse adaptée : certaines ne respectent pas la législation et devraient effectivement éteindre leurs lumières (entreprises n'ayant pas d'activité la nuit) alors que d'autres, qui contribuent fortement à l'éclairage nocturne, peuvent légalement rester allumées car elles offrent un service 24h/24 (station de lavage et station service). Les écrans lumineux en vitrine ne sont pas non plus soumis à l'obligation d'extinction nocturne.

8.3 Intensité de l'éclairage

L'intensité des éclairages est souvent pensée uniquement pour les activités humaines sans considération pour les autres formes de vie et sans considération suffisante pour les impacts négatifs sur les humains eux-mêmes. Les éblouissements créés parfois par l'éclairage sont une source d'inconfort et les sur-éclairages conduisent à éclairer encore d'avantage pour tenter de contrebalancer la saturation en lumière de notre rétine. La norme EN 13201, d'application non obligatoire, a ainsi été conçue par, et pour, les professionnels de l'éclairage et elle n'a pas fait l'objet d'un consensus avec les représentants de la société civile portant les préoccupations environnementales. Ces derniers ont d'ailleurs quitté la table de négociation lors de sa dernière mise à jour (https://www.anpcen.fr/docs/20160630205641_kn7ixi_doc190.pdf).

Comparativement à beaucoup d'autres communes françaises, Saint-Fargeau a mis en œuvre une réduction remarquable de l'intensité lumineuse. Les nouveaux éclairages connectés ne fonctionnent qu'à 75 % de leur puissance nominale dès leur mise en service et ils font l'objet d'une baisse importante au cours de la nuit jusqu'à 1% de leur puissance nominale dans certains endroits (cf § 5.2). Cette baisse d'intensité n'est pas suffisante pour éliminer les impacts sur des espèces très sensibles à la lumière. Cependant, la baisse d'intensité réduit de manière significative les surfaces éclairées autour de la source lumineuse, les niveaux d'éclairage diminuant au carré de la distance. Elle diminue également la contribution de l'éclairage au halo lumineux global.

13 éclairages que nous avons mesurés, du fait de leur faible hauteur de pose (entre 3,5 et 5 m) procurent un niveau d'éclairage au sol supérieur à 100 lux à 75% du flux, ce qui est nettement supérieur à la moyenne observée (place derrière l'ancienne mairie, éclairage à coté du stade et de 2 éclairages dans des ruelles).

Il reste quelques secteurs non connectés qui ne bénéficient pas de la réduction d'intensité lumineuse nocturne.

Concernant certains éclairages privés, de grandes marges de progrès existent en matière de réduction d'intensité au regard des besoins réels. Le contraste est flagrant entre ces sur-éclairages et les faibles niveaux d'éclairages publics. Par opposition, ces derniers peuvent paraître trop faible et les zones non éclairées très noires, le temps que notre rétine se réhabitue à la nuit après avoir été exposée à ces lumières agressives.





Intensité lumineuse avant et après 21h (passage de 48 lux à environ 7.5 lux)

8.4 Dispersions de lumière

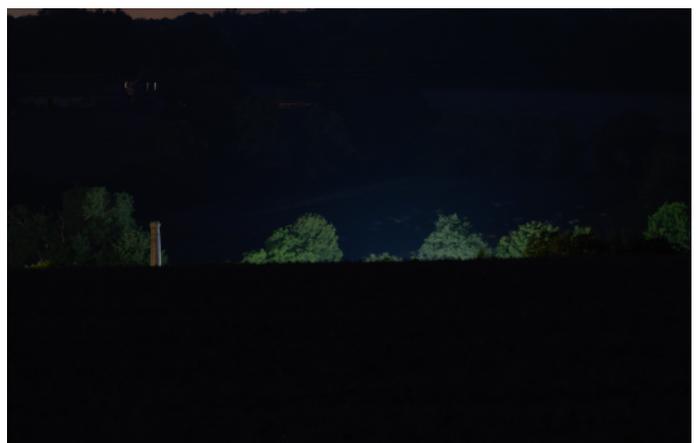
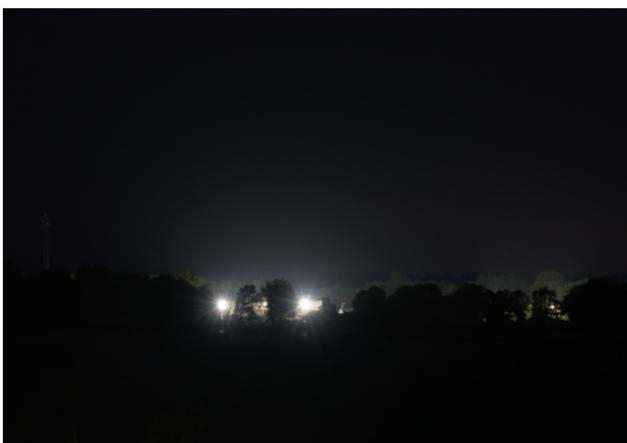
Les éclairages sont destinés à éclairer là où la lumière est utile pour les besoins humains, c'est à dire généralement au sol. Les dispositifs lumineux qui éclairent de manière ciblée, permettent de diminuer les impacts écologiques et réduisent les gaspillages énergétiques. Le problème de dispersion de la lumière vers le haut concerne les espèces volant au-dessus des luminaires ; ces lumières contribuent également au halo lumineux.

En très grande majorité, les nouveaux luminaires d'éclairage public, suite à la rénovation en LED, sont bien orientés vers le sol et ne dispersent pas de lumière vers le ciel. En revanche pour les espèces se déplaçant sous le niveau des sources de lumière, le problème reste entier (insectes, certaines chauves-souris, plantes...).

Quelques luminaires de type « citadins » comme le Happi LED dans le lotissement de la Croix-Saint-Miche ou sur le parking du supermarché émettent une lumière moins ciblée. Les spots de mise en valeur du château éclairent même intentionnellement vers le haut.

La dispersion peut également être latérale vers des endroits non ciblés. C'est le cas les luminaires en bordure du Loing et, dans une moindre mesure, les plots le long du ru du Bourdon.

Nous avons également relevé des spots puissants et mal orientés sur des façades de bâtiments industriels dans la zone des Gâtines et dans le village. Ces éclairages sont visibles de loin ; leur diffusion est augmentée par la composante bleue (cf § suivant) et leur impact écologique ainsi que leur contribution au halo lumineux sont importants.



Lumière non ciblée qui diffuse loin (ZA des Gâtines et station de lavage)



8.5 Répartition spectrale des lumières

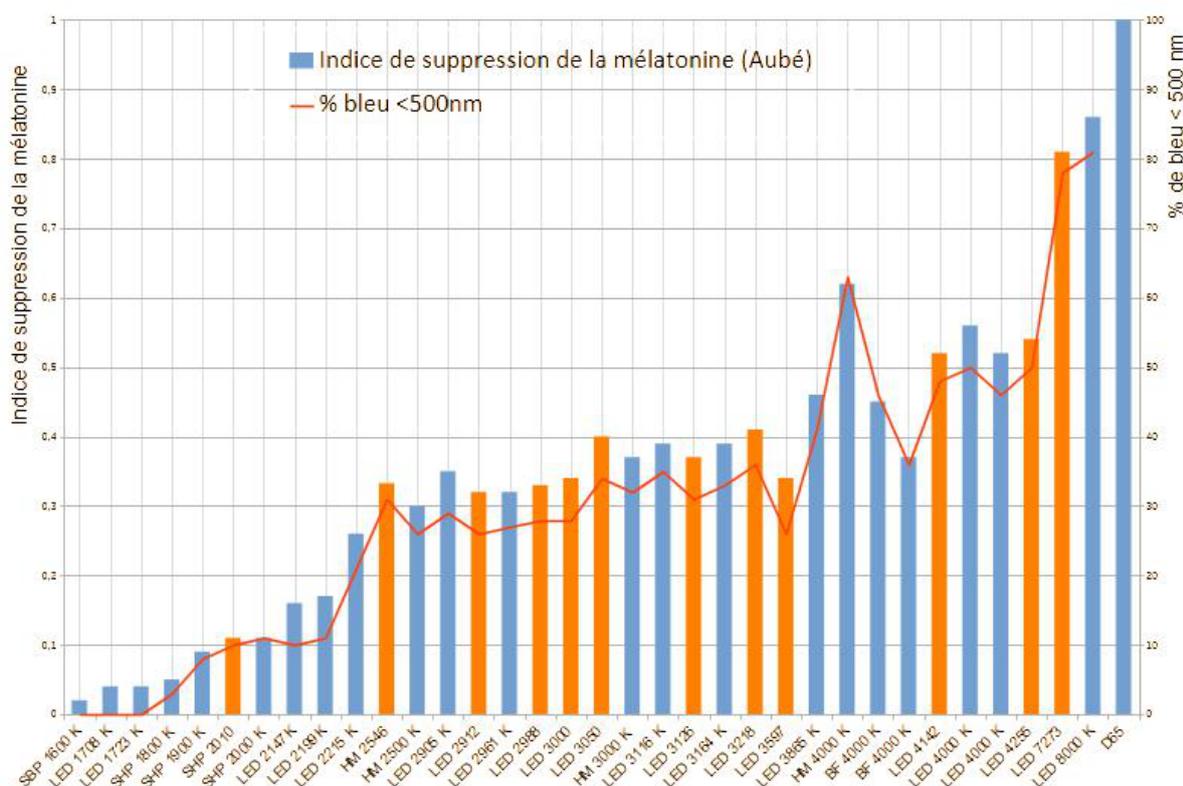
Les différentes sources de lumières inventées pour les activités humaines nocturnes ont toute leur signature spectrale propre, c'est à dire leur composition en différentes longueurs d'ondes visibles. Aucune n'est identique au soleil qui possède un spectre continu. Plus le spectre comporte de longueurs d'ondes de différentes couleurs, plus la lumière produite est « blanche » comme la lumière solaire. Depuis le début d'apparition de la vie sur terre cette dernière donne le signal aux horloges biologiques des organismes vivants du rythme jour-nuit. Ce sont spécifiquement ses courtes longueurs d'ondes dans le bleu qui agissent sur la sécrétion d'une hormone, la mélatonine. Elle règle ainsi des mécanismes physiologiques, des activités biologiques et au final l'ensemble du fonctionnement des écosystèmes.

Si les éclairages jusque dans les deux premières décennies du XIX^{ème} siècle étaient majoritairement oranges (sodium) et comportaient peu de longueurs d'ondes bleues, l'avènement des éclairages LED a conduit à une forte augmentation du blanchissement des éclairages extérieurs et à une forte augmentation de la lumière bleue. Malgré une mode qui a promu les lumières blanches, on assiste aujourd'hui à une prise de conscience de ses effets délétères sur les écosystèmes et la santé humaine et à un retour vers des couleurs plus oranges.

En parallèle à cette sensibilité universelle aux courtes longueurs d'ondes bleues, les différents organismes vivants ont développé des sensibilités spécifiques à telle ou telle longueur d'onde. Il n'existe donc aucune lumière artificielle nocturne dont on puisse dire qu'elle n'a aucun effet sur le vivant, mais plus le spectre est étroit, plus la diversité des espèces affectées est faible.

L'éclairage public de Saint-Fargeau est majoritairement composé de LED blanches à 3000 K, limite supérieure autorisée par la législation. Néanmoins, comme le montre le graphe ci-dessous, l'inhibition de la mélatonine devient significative au-delà de 2000 K. Une source à 3000 K a une capacité d'inhibition de la mélatonine de 40 % de celle de la lumière du jour alors qu'elle est inférieure à 5 % pour les LED ambre de 1700 K dont la lumière est proche du sodium.

Quelques luminaires dépassent les 3000 K ; ils ont probablement été posés avant le 1^{er} janvier 2019, date à partir de laquelle la limite de 3000 K a été imposée. Il s'agit des luminaires « Stela » du lotissement la Croix-Saint-Miche (4200 K), des luminaires « Falco » vers la maison de retraite (4700 K) ou des luminaires 4 faces de la place du musée du son (3500 K).



Légende : les barres représentent la capacité d'inhibition de la mélatonine des sources lumineuses à niveau d'éclairement égal en référence à l'illuminant D65 (lumière du jour). Les différentes sources sont identifiées par leur température de couleur en Kelvin (K) et leur type (sodium haute pression = SHP, diode électroluminescente = LED, halogénure métallique = HM, vapeur de mercure haute pression = BF). Les lumières mesurées à Saint-Fargeau (en orange) sont complétées par quelques lumières de référence de notre base de données.

L'éclairage de mise en valeur du château est actuellement réalisé avec les sources au sodium haute pression (1800 K) ce qui limite l'impact sur les chauves-souris présentes. C'est parmi les éclairages privés, en revanche, que nous avons constaté les lumières les plus blanches et donc à fort impact écologique : la station de lavage (7200 K) la vitrine de l'agence immobilière (7200 K), les spots sur les façades d'entreprises (4000 K), le bâtiment de la colonie Viva (environ 4000 K), l'éclairage extérieur d'un bar du centre-ville (4000 K).

Les longueurs d'ondes inférieures à 500 nm se diffusent également plus facilement dans l'atmosphère, contribuant ainsi d'avantage au halo lumineux. Une équipe de recherche a ainsi montré, qu'au niveau mondial, le passage en LED avait augmenté la pollution lumineuse (Sanchez de Miguel *et al.*, 2021).

8.6 Synthèse graphique des situations problématiques

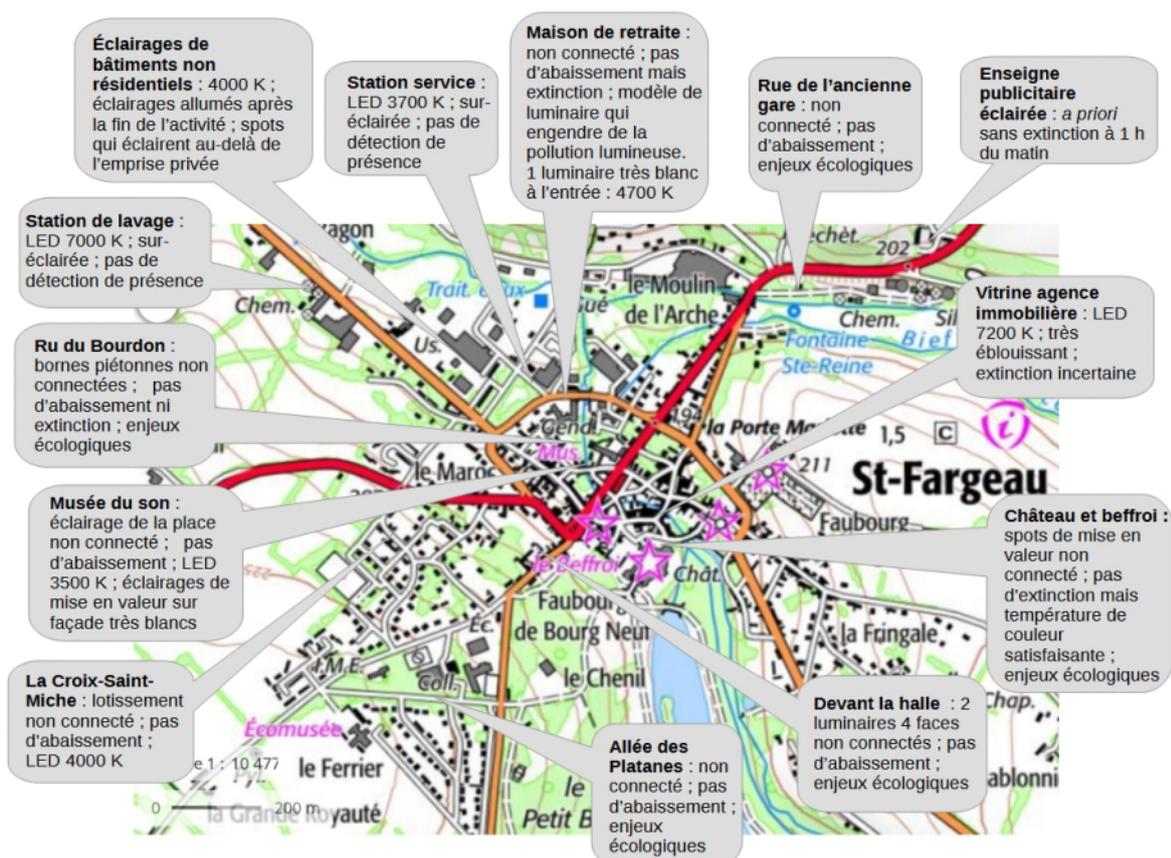
Dans la dernière décennie l'éclairage public de Saint-Fargeau a connu d'importantes évolutions. Le changement des types de luminaires et la réduction de l'intensité a permis d'une part de mieux cibler les émissions de lumière et d'autre part de réduire les niveaux d'éclairages grâce à la technologie LED.

Dans le même temps des secteurs non éclairés, comme la rue de l'ancienne gare, ou peu éclairés, comme l'avenue des Platanes, ont vu l'installation de luminaires qui ont augmenté la pression lumineuse sur la biodiversité et notamment, les chauves-souris.

Des problèmes subsistent sur des questions de températures de couleurs trop blanches concernant des éclairages publics installés avant l'arrêté de 2018 et concernant des éclairages privés. Des lumières trop intenses ou mal orientées, principalement dans des structures privées, mettent aussi à mal les efforts de la commune et nuisent à l'homogénéité globale de l'éclairage.

Les trois cartes suivantes synthétisent l'ensemble des problèmes identifiés.

Centre-bourg



ZA des Gâtines



Lac du Bourdon



8.7 Continuités sombres à préserver

Il n'est pas possible, par rigueur scientifique, d'identifier et de cartographier une trame noire généraliste sur la commune, ni une trame noire pour une espèce car ce travail relève du champs de la recherche et nécessite des investigations lourdes spécifiques. En revanche, l'identification des milieux sensibles et l'observation des pratiques d'éclairage dont ils font l'objet, permet d'identifier des pistes d'actions pour améliorer les connectivités écologiques et la qualité écologique des milieux.

L'analyse bibliographique montre que l'ensemble des espèces patrimoniales de chauves-souris du site Natura 2000 de Saint-Fargeau fait partie des espèces intolérantes à la lumière.

La **Barbastelle d'Europe** est une espèce forestière ou de bocage, sensible à la lumière et qui évite les secteurs éclairés. Une étude a montré sa forte répulsion à boire en milieu éclairé (Russo *et al.*, 2018). Il s'agit d'une espèce dont l'activité commence plus tard et se termine plus tôt que les autres espèces.

Le **Grand Murin**, espèce également « tardive ». Cette espèce évite les secteurs éclairés en raison des risques de prédation.

Le **Grand Rhinolophe** quitte son gîte assez précocement dans la nuit ; les éclairages des sorties de gîtes peuvent conduire à l'abandon du gîte ou à des sorties retardées avec une influence négative sur le poids des jeunes.

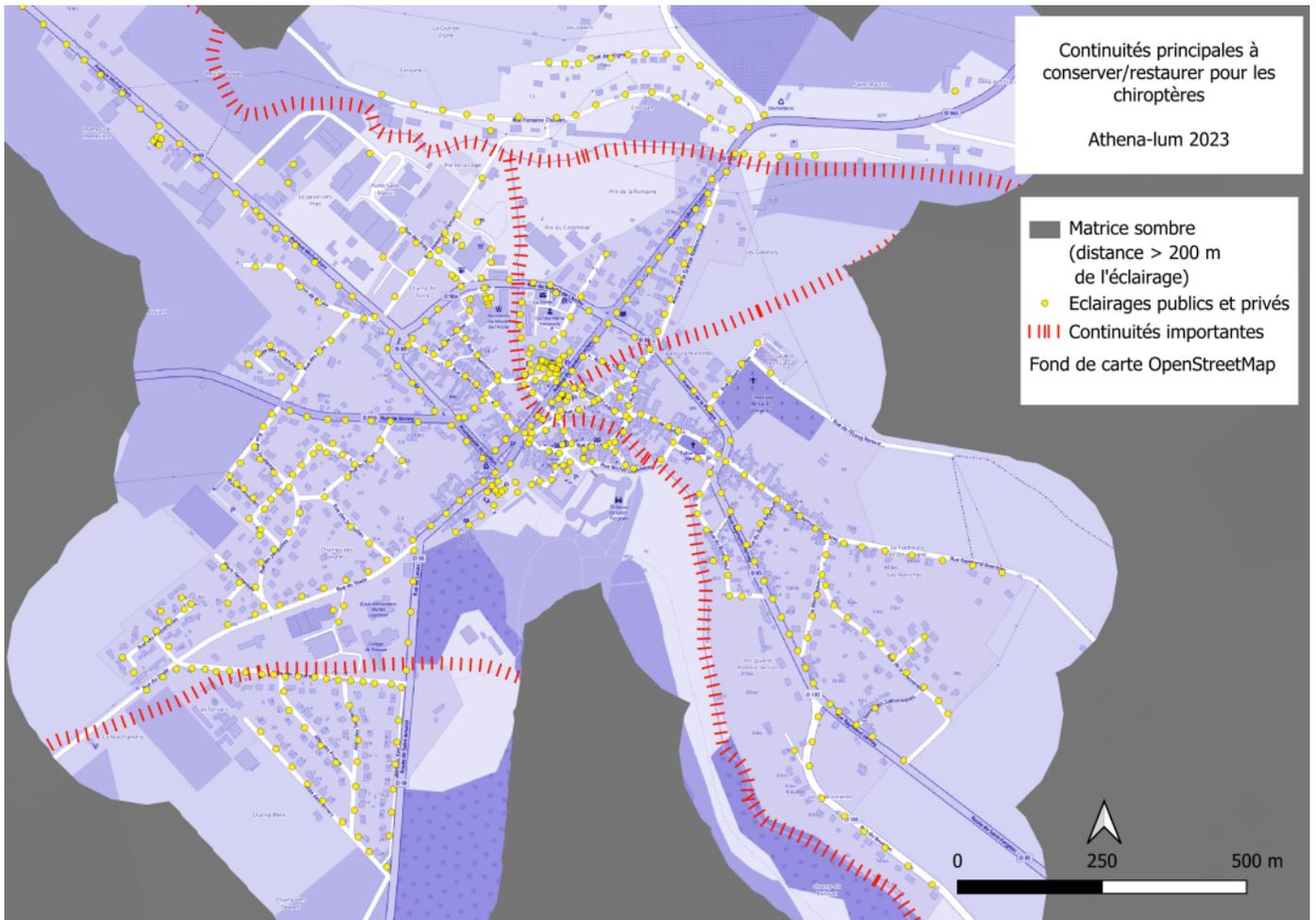
Le **Petit Rhinolophe** et le **Murin à oreilles échancrées** sont des espèces « tardives » dont l'activité commence plus tard et se termine plus tôt que les autres espèces ; ce sont des espèces réputées intolérantes, voire très intolérante à la lumière (Petit Rhinolophe) ; chez ce dernier, même des lumières oranges au sodium constitueraient une barrière infranchissable (Stone, 2009).

Le **Minioptère de Schreibers** est capable de chasser les insectes à proximité des luminaires, bien qu'une différence ait été notée en fonction des sexes : les femelles gestantes chassent dans l'obscurité (source fauneauvergnernhonealpes.org). La lumière perturbe l'entrée de leur gîtes ainsi que l'intérieur des cavités.

Le **Murin de Bechstein**, espèce forestière, évite les zones urbanisées et éclairées.

La carte, que nous proposons ci-dessous, des continuités sombres à préserver ou à restaurer principalement pour les chauves-souris, est une synthèse de nos observations sur la commune, des informations fournies par la Communauté de communes et des informations issues de la bibliographie.







IDENTIFICATION DES SOLUTIONS



9 Propositions de solutions d'amélioration de l'existant

9.1 Zéro artificialisation nette

Une des premières mesures importante serait d'éviter l'extension des zones éclairées en compensant tout nouveau besoin ponctuel d'éclairage artificiel par une suppression de points lumineux publics ou privés devenus inutiles ou superflus. Le principe est identique au « zéro artificialisation nette » en urbanisation.

Les secteurs sensibles identifiés au § 8.1, doivent faire l'objet d'une attention prioritaire tout en gardant à l'esprit que d'un point de vue écologique, l'ensemble de l'éclairage de la commune contribue à la pression lumineuse pour les espèces.

Il est souhaitable que les secteurs en réflexion comme le futur siège de la Communauté de communes, la place du musée du son ou les mises en valeur lumineuses du château et du beffroi, prennent en compte les enjeux écologiques au même titre que les enjeux esthétiques.

9.2 Inciter au respect de la réglementation

La réglementation concernant l'éclairage artificiel nocturne est complexe et souvent mal connue. Elle fait appel à différents textes qu'il s'agisse de l'éclairage public et bâtiments non résidentiels, des publicités et enseignes, des personnes à mobilité réduite ou du code du travail.

La réglementation prescrit notamment les extinctions des bâtiments non résidentiels et des mises en valeur architecturales au plus tard à 1h du matin.

Les écrans lumineux en vitrine étaient jusqu'à peu dans un vide juridique, étant concernées ni par la réglementation sur les nuisances lumineuses, ni par la publicité. Actuellement leurs luminances peuvent être limitées par les règlements locaux (RLP) ou intercommunaux (RLPi) de publicité. L'établissement d'un tel règlement par l'intercommunalité pourrait limiter les installations existantes, mais aussi surtout, futures.

Une étude qui vient de paraître dresse un état des lieux des leviers dont disposent les communes et les intercommunalités pour mettre pleinement la communication, qu'elle soit publique ou commerciale, au service de la transition de leur territoire*.

9.3 Préserver des espaces moins éclairés dans le tissu urbain

Les secteurs éclairés doivent, le plus possible, préserver des espaces moins soumis à la lumière pour favoriser une perméabilité pour des espèces très sensibles à l'éclairage nocturne. Différents leviers peuvent être actionnés :

- une **taille moins sévère des arbres** en ville pour offrir des territoires de chasse et des voies de circulation dans les frondaisons aux chauves-souris photophobes comme les murins ou les rhinolophes,
- l'extension des **pratiques de réduction d'intensité et d'extinction** d'un luminaire sur deux,
- une **gestion saisonnière** de l'éclairage public en diminuant les durées d'éclairage en périodes sensibles (migrations, reproduction), ou lorsque les nuits sont courtes et que les besoins humains sont moins importants.

9.4 Agir sur les paramètres techniques pour diminuer la pression lumineuse

En réduisant autant que possible les facteurs défavorables aux êtres vivants on réduit la pression lumineuse non seulement sur la biodiversité mais également sur la santé humaine. Outre des actions sur l'intensité de l'éclairage ou sa temporalité, il est possible d'agir sur les paramètres suivants :

* Quinteau, Raphaël. « Publicité, communication et transition écologique : comment agir sur le plan territorial ? La Fabrique Ecologique, 2023 (https://www.lafabriqueecologique.fr/app/uploads/2023/06/Rapport_Etude_Publicite%CC%81_Communication_13.06.23-1.pdf).



- les **spectres lumineux** des sources de lumière doivent comporter le moins de courtes longueurs d'ondes possibles (inférieures à 500 nanomètres). A une température de couleur de 3000 Kelvins, comme c'est le cas des éclairages de rues à Saint-Fargeau, les LED contiennent environ 30 % de ces courtes longueurs d'ondes. Certaines LED plus anciennes et de nombreux éclairages privés en contiennent même beaucoup plus : jusqu'à près de 80 %. A titre de comparaison les anciennes sodium haute pression en contiennent 10 % et les LED < 2000 Kelvin quasiment pas du tout. Un développement industriel est en cours pour remédier à ce problème et nous espérons voir prochainement sur le marché des filtres qu'il sera possible d'appliquer sur les luminaires pour réduire leur composante en courtes longueurs d'ondes.

- l'**orientation des sources lumineuses** ; les lumières mal orientées contribuent au halo lumineux et gênent le sommeil, le bien-être et la santé des habitants,

- la **détection de présence** pour les éclairages de bâtiments industriels évite un éclairage continu de sites sans activité nocturne permanente,

- l'**intensité lumineuse** est souvent supérieure aux besoins réels, même si à Saint-Fargeau la réflexion est déjà plus avancée que dans beaucoup de communes. En début de nuit, un niveau d'éclairage plus faible permettrait de limiter les contrastes et par la-même procurerait une sensation d'un éclairage plus homogène. Certains luminaires que nous avons identifiés comme très éblouissants avec des niveaux d'éclairage supérieurs à 80 lux du fait de leur faible hauteur, pourraient être gradés d'avantage grâce au système connecté.

- la **baisse d'intensité en l'absence d'utilisateur** des éclairages des services 24h/24 (essence, lavage). Les besoins de visibilité de ces services peut être obtenu par une enseigne rouge, peu impactante pour le vivant, telle que celles préconisées dans les cahiers des charges des Réserves de ciel étoilé.

9.5 Faire émerger la problématique « pollution lumineuse » dans la population

La sensibilisation est également un levier pour favoriser l'appropriation du problème par la population. Actuellement nous avons constaté lors de nos enquêtes auprès des entreprises que le sujet de la pollution lumineuse est un non-sujet. Au-delà d'une réflexion collective sur tous les aspects de l'éclairage nocturne, une stratégie de communication sur le long terme et un travail avec les écoles, les collèges et lycées serait propice à la redécouverte de la nuit dans toutes ses dimensions : culturelles, artistiques, scientifiques et mythologiques.

10 Propositions d'un plan de gestion phasé de l'éclairage

Nous proposons dans les fiches suivantes, un plan de gestion selon 3 niveaux de priorité :

- A **court terme**, c'est à dire avec des actions réalisable facilement, sans investissement notamment grâce au pilotage de l'installation d'éclairage ou intégration dans des travaux d'aménagements déjà prévus.

- A **moyen ou long terme**, avec des actions qui nécessitent des investissements ponctuels pour modifier les caractéristiques de l'éclairage.

- A **long terme** avec des actions qui nécessitent des investissements généralisés pour modifier les caractéristiques de l'éclairage.



Plan de gestion pour réduire les impacts de l'éclairage nocturne sur le site Natura 2000 de Saint-Fargeau

Actions à court terme

Réalisable facilement sans investissements grâce au pilotage de l'installation d'éclairage ou par l'intégration dans des travaux d'aménagements déjà prévus

Actions générales

Diminution de la pression lumineuse globale

Ajuster, avec l'aide de la population des niveaux d'abaissements de l'éclairage encore plus bas (dès l'allumage et dans les différentes phases de gradation). Tester une généralisation de flux à 10 % et voir les quartiers où un flux supérieur serait nécessaire.

Vérifier la possibilité de mettre des réducteurs de tension dans les armoires qui alimentent les luminaires Stela du lotissement la Croix-Saint-Miche.

Envoyer un courrier aux entreprises pour les informer de la réglementation (proposition en annexe).

Actions spécifiques à destination des chiroptères

Programmer les points lumineux pilotables en mode « nuits noires » sur les trajectoires connues d'envols à partir des gîtes (voir carte).

Ménager des coupures sombres dans les linéaires éclairés : généraliser le mode « nuits noires » d'un point sur deux le long des rues structurantes, notamment celles qui sont arborées (route de Saint Amand/allée du Parc, rue de Lavau, avenue du Général Leclerc, avenue de la Grande Mademoiselle).

Actions dans le cadre de travaux en cours ou prévus

Projets de rénovation de la mise en valeur lumineuse du château et du beffroi : prévoir un éclairage sobre et programmable pour permettre un allumage différencié en fonction des périodes. Éviter l'éclairage systématique pour préserver l'émerveillement.

Traiter les sols lors des aménagements prévus avec des contrastes pour identifier les trottoirs, les obstacles et faciliter les déplacements lors des très faibles éclaircissements ou de l'extinction.

Éviter les grandes surfaces claires au sol pour réduire la réflexion de la lumière la nuit.

Points de vigilance

Porter une attention à la sécurité des usagers dans les secteurs à extinction totale de l'éclairage pour éviter les accidents qui pourraient nuire à la démarche. *Exemple de la situation dangereuse avec l'absence de rambarde sur la route qui traverse le ru du Bourdon dans un secteur à extinction totale au Nord-Est du château.*

Sécuriser les extinctions nocturnes avec un arrêté municipal qui précise la volonté politique d'éteindre et indique à la population les points lumineux concernés.

Plan de gestion pour réduire les impacts de l'éclairage nocturne sur le site Natura 2000 de Saint-Fargeau

Actions à moyen terme

Réalisable avec des investissements ponctuels pour modifier les caractéristiques de l'éclairage

Actions générales

Diminution de la pression lumineuse globale

Connecter les éclairages qui ne le sont pas encore et qui ne peuvent donc pas être baissés (place du Musée du son, lotissement la Croix-Saint-Miche, le long de la rue de l'ancienne gare, vers la Halle, le cheminement piéton le long du ru du Bourdon...).

Étudier les besoins en éclairage public avec les acteurs de la ZA des Gâtines pour réduire le nombre important de luminaires posés.

Actions spécifiques à destination des chiroptères

Éviter les lumières > 2000 K pour les mises en valeur lumineuses (château, Musée du son, beffroi). Se rapprocher d'un concepteur lumière pour un projet adapté.

Étudier la possibilité de remplacer les LED de la rue de l'ancienne gare par des LED monochromatiques rouges moins perturbantes pour les chauves-souris.

Plan de gestion pour réduire les impacts de l'éclairage nocturne sur le site Natura 2000 de Saint-Fargeau

Actions à moyen ou long terme

Réalisable avec des investissements généralisés pour modifier les caractéristiques de l'éclairage

Baisser la température de couleur des LED posées lorsque les filtres seront disponibles sur le marché.

Ceci permettra de retrouver une couleur plus chaleureuse et moins impactante pour le vivant sans nécessité de changer l'ensemble du matériel posé et sans génération de coûts environnementaux délocalisés.

Dans le cas des luminaires à LED pour lesquels les filtres ne sont pas adaptés (Stela...), une forte baisse d'intensité pourra diminuer l'impact écologique.



ANNEXES



Marché de
producteurs
et d'artisans

Références bibliographiques

Références issues du fichier Zotero fourni

- Acharya, L., & Fenton, M. B. (1999). Bat attacks and moth defensive behaviour around street lights. *Canadian Journal of Zoology*, 77(1), 27-33. <https://doi.org/10.1139/z98-202>
- Amichai, E., Blumrosen, G., & Yovel, Y. (2015). Calling louder and longer : How bats use biosonar under severe acoustic interference from other bats. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282(1821). <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.2064>
- Arlettaz, R., Godat, S., & Meyer, H. (2000). Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (*Pipistrellus pipistrellus*) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*). *Biological Conservation*, 93, 5560.
- Azam, C. (2016). *Impacts of light pollution on bat spatiotemporal dynamics in France : Implications for outdoor lighting planning* [Theses, Museum national d'histoire naturelle - MNHN PARIS]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01570140>
- Azam, C. (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 ? *Symbioses - 17ème rencontres nationales chauves-souris de la SFEPM, At Bourges, France*. https://www.researchgate.net/publication/324390941_Effectivite_de_la_Trame_verte_et_bleue_au_regard_de_la_Trame_noire_comment_limiter_l%27impact_de_l%27eclairage_artificiel_nocturne_sur_les_Chauves-souris
- Azam, C., Kerbiriou, C., Vernet, A., Julien, J.-F., Bas, Y., Plichard, L., Maratrat, J., & Le Viol, I. (2015). Is part-night lighting an effective measure to limit the impacts of artificial lighting on bats? *Global Change Biology*, 21(12), 4333-4341. <https://doi.org/10.1111/gcb.13036>
- Azam, C., Le Viol, I., Julien, J.-F., Bas, Y., & Kerbiriou, C. (2016). Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program. *Landscape Ecology*, 31(10), 2471-2483. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0417-3>
- Azam, C., Viol, I. L., Bas, Y., Zissis, G., Vernet, A., Julien, J.-F., & Kerbiriou, C. (2018). Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. *Landscape and Urban Planning*, 175, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.02.011>
- Bailey, L. A., Bringham, R. M., Bohn, S. J., Boyles, J. G., & Smit, B. (2019). An experimental test of the allotonic frequency hypothesis to isolate the effects of light pollution on bat prey selection. In *Oecologia* (Vol. 190, Numéro 2, p. 367-374). <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04417-w>
- Barre, K., Challéat, S., Milian, J., & Renaud, M. (2023). L'environnement nocturne, ce bien précieux. *La Recherche*, 574. <https://www.larecherche.fr/lenvironnement-nocturne-ce-bien-precieux>
- Barré, K., Kerbiriou, C., Ing, R.-K., Bas, Y., Azam, C., Le Viol, I., & Spoelstra, K. (2021). Bats seek refuge in cluttered environment when exposed to white and red lights at night. *Movement Ecology*, 9(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40462-020-00238-2>
- Barré, K., Spoelstra, K., Bas, Y., Challéat, S., Ing, R. K., Azam, C., Zissis, G., Lapostolle, D., Kerbiriou, C., & Viol, I. L. (2020). Artificial light may change flight patterns of bats near bridges along urban waterways. *Animal Conservation*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/acv.12635>
- Barré, K., Thomas, I., Le Viol, I., Spoelstra, K., & Kerbiriou, C. (2023). Manipulating spectra of artificial light affects movement patterns of bats along ecological corridors. *Animal Conservation*, in press, acv.12875. <https://doi.org/10.1111/acv.12875>
- Barré, K., Vernet, A., Azam, C., Le Viol, I., Dumont, A., Deana, T., Vincent, S., Challéat, S., & Kerbiriou, C. (2022). Landscape composition drives the impacts of artificial light at night on insectivorous bats. *Environmental Pollution*, 292, 118394. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118394>
- Bhardwaj, M., Soanes, K., Lahoz-Monfort, J. J., Lumsden, L. F., & van der Ree, R. (2020). Artificial lighting reduces the effectiveness of wildlife-crossing structures for insectivorous bats. *Journal of Environmental Management*, 262, 110313. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110313>
- Blake, D., Hutson, A. M., Racey, P. A., Rydell, J., & Speakman, J. R. (1994). Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology*, 234(3), 453-462. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1994.tb04859.x>
- Boldogh, S., Dobrosi, D., & Samu, P. (2007). The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica*, 9(2), 527-534.
- Bolliger, M., J. Hennet, T., Wermelinger, B., Blum, S., Haller, J., & Obrist, D. (2020). Low impact of two LED colors on nocturnal insect abundance and bat activity in a peri-urban environment. In *Journal of Insect Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00235-1>

Boonman, A., Bar-On, Y., & Yovel, Y. (2013). It's not black or white—On the range of vision and echolocation in echolocating bats. *Frontiers in Physiology*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2013.00248>

Briolat, E. S., Gaston, K. J., Bennie, J., Rosenfeld, E. J., & Troscianko, J. (2021). Artificial nighttime lighting impacts visual ecology links between flowers, pollinators and predators. *Nature Communications*, 12(1), 4163. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24394-0>

Brown, T. M., Brainard, G. C., Cajochen, C., Czeisler, C. A., Hanifin, J. P., Lockley, S. W., Lucas, R. J., Münch, M., O'Hagan, J. B., Peirson, S. N., Price, L. L. A., Roenneberg, T., Schlangen, L. J. M., Skene, D. J., Spitschan, M., Vetter, C., Zee, P. C., & Jr, K. P. W. (2022). Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLOS Biology*, 20(3), e3001571. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>

Brüning, A., Hölker, F., Franke, S., Kleiner, W., & Kloas, W. (2018). Influence of light intensity and spectral composition of artificial light at night on melatonin rhythm and mRNA expression of gonadotropins in roach *Rutilus rutilus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0408-6>

Césard, N. (2010). Vie et mort de la manne blanche des riverains de la Saône. *Études rurales*, 185, Article 185.

Challéat, S., Barré, K., Laforge, A., Lapostolle, D., Franchomme, M., Sirami, C., Le Viol, I., Milian, J., & Kerbiriou, C. (2021). Grasping darkness : The dark ecological network as a social-ecological framework to limit the impacts of light pollution on biodiversity. *Ecology and Society*, 26(1). <https://doi.org/10.5751/ES-12156-260115>

Challéat, S., Barre, K., Lapostolle, D., Milian, J., Bénos, R., Foglar, H., Ronzani, C., Farrugia, N., Maisonobe, M., Prévost, H., Morvan, S., & Renaud, M. (2022). Au sein du CNRS, un Observatoire de l'environnement nocturne pour accompagner la territorialisation de la lutte contre la pollution lumineuse. *Les Cahiers Clairaut*, 178, 27-33.

Day, J., Baker, J., Schofield, H., Mathews, F., & Gaston, K. J. (2015). Part-night lighting : Implications for bat conservation. *Animal Conservation*. <https://doi.org/10.1111/acv.12200>

Downs, N. C., Beaton, V., Guest, J., Polanski, J., Robinson, S. L., & Racey, P. A. (2003). The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. *Biological Conservation*, 111(2), 247-252. [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00298-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00298-7)

Eklöf, J., Šuba, J., Petersons, G., & Rydell, J. (2014). Visual acuity and eye size in five European bat species in relation to foraging and migration strategies. *Environmental and Experimental Biology*, 12, 1-6.

Fure, A. (2006). *Bats and the lighting in the UK. Bats and the Built Environment Series*. Bat Conservation Trust. <http://docs.darksky.org/Reports/BATSANDLIGHTINGINTHEUKJan08>

Gaston, K. J., Davies, T. W., Bennie, J., & Hopkins, J. (2012). REVIEW: Reducing the ecological consequences of night-time light pollution : Options and developments. *Journal of Applied Ecology*, 49(6), 1256-1266. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02212.x>

Grubisic, M. (2018). Waters under Artificial Lights : Does Light Pollution Matter for Aquatic Primary Producers? *Limnology and Oceanography Bulletin*, 27(3), 76-81. <https://doi.org/10.1002/lob.10254>

Haddock, J. K., Threlfall, C. G., Law, B., & Hochuli, D. F. (2019). Light pollution at the urban forest edge negatively impacts insectivorous bats. In *Biological Conservation* (Vol. 236, p. 17-28). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.016>

Hale, J. D., Fairbrass, A. J., Matthews, T. J., Davies, G., & Sadler, J. P. (2015). The ecological impact of city lighting scenarios : Exploring gap crossing thresholds for urban bats. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.12884>

Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., & Racey, P. A. (2009). Carpe noctem : The importance of bats as bioindicators. *Endangered species research*, 8(1-2), 93-115.

Jones, G., & Rydell, J. (1994). Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 346(1318), 445-455. <https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0161>

Kerbiriou, C., Barré, K., Mariton, L., Pauwels, J., Zissis, G., Robert, A., & Le Viol, I. (2020). Switching LPS to LED Streetlight May Dramatically Reduce Activity and Foraging of Bats. *Diversity*, 12, 165. <https://doi.org/10.3390/d12040165>

Kühne, J., Grunsvén, R., Jechow, A., & Hölker, F. (2021). Impact of different wavelengths of artificial light at night on phototaxis in aquatic insects. *Integrative and Comparative Biology*. <https://doi.org/10.1093/icb/icab149>

Kuijper, D. P. J., Schut, J., van Dullemen, D., Toorman, H., Goossens, N., Ouwehand, J., & Limpens, H. (2008). Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Lutra*, 51(1), 37.

Lacoeuilhe, A., Machon, N., Julien, J.-F., Le Bocq, A., & Kerbiriou, C. (2014). The Influence of Low Intensities of Light Pollution on Bat Communities in a Semi-Natural Context. *PLoS ONE*, 9(10), 103042. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103042>

Laforge, A., Pauwels, J., Faure, B., Bas, Y., Kerbiriou, C., Fonderflick, J., & Besnard, A. (2019). Reducing light pollution improves connectivity for bats in urban landscapes. *Landscape Ecology*, 34(4), 793-809. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00803-0>



- Lewanzik, D., Straka, T. M., Lorenz, J., Marggraf, L., Voigt-Heucke, S., Schumann, A., Brandt, M., & Voigt, C. C. (2021). Evaluating the potential of urban areas for bat conservation with citizen science data. *Environmental Pollution*, 118785. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118785>
- Lewanzik, D., & Voigt, C. C. (2016). Transition from conventional to light-emitting diode street lighting changes activity of urban bats. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12758>
- Mariton, L. (2023). *Taking light pollution effects on biodiversity into account in conservation measures : Challenges and prospects. Case study of European bat species*. Sorbonne Université.
- Mariton, L., Kerbiriou, C., Bas, Y., Zanda, B., & Le Viol, I. (2022). Even low light pollution levels affect the spatial distribution and timing of activity of a “light tolerant” bat species. *Environmental Pollution*, 305, 119267. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119267>
- Mariton, L., Le Viol, I., Bas, Y., & Kerbiriou, C. (2023). Characterising diel activity patterns to design conservation measures : Case study of European bat species. *Biological Conservation*, 227.
- Mathews, F., Roche, N., Aughney, T., Jones, N., Day, J., Baker, J., & Langton, S. (2015). Barriers and benefits : Implications of artificial night-lighting for the distribution of common bats in Britain and Ireland. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 370(1667). <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0124>
- Minnaar, C., Boyles, J. G., Minnaar, I. A., Sole, C. L., & McKechnie, A. E. (2015). Stacking the odds : Light pollution may shift the balance in an ancient predator-prey arms race. *Journal of Applied Ecology*, 52(2), 522-531. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12381>
- Moore, M., Kohler, S., & Cheers, M. (2006). Artificial light at night in freshwater habitats and its potential ecological effects. In I. Press (Éd.), *Ecological consequences of artificial night lighting* (p. 365-384).
- Müller, B., Glösmann, M., Peichl, L., Knop, G. C., & Ammermüller, C. H. and Josef. (2009). Bat Eyes Have Ultraviolet-Sensitive Cone Photoreceptors. *PLoS ONE.*, 4(7): e6390. doi:10.1371/journal.pone.0006390.
- Nowicki, F. (2018). *Préservation des chiroptères et isolation thermique des bâtiments* (p. 46). CEREMA.
- Orbach, D. N., & Fenton, B. (2010). Vision Impairs the Abilities of Bats to Avoid Colliding with Stationary Obstacles. *PLoS ONE.*, 5(11). <http://www.plosone.org/article/doi/10.1371/journal.pone.0013912&representation=PDF>
- Owens, A. C. S., Cochard, P., Durrant, J., Farnworth, B., Perkin, E. K., & Seymoure, B. (2020). Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 108259. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>
- Patriarca, E., & Debernardi, P. (2010). *Bats and light pollution*. EUROBATs. <http://www.centroregionalechiropteri.org/download/eurobats/Bats%20and%20light%20pollution.pdf>
- Pauwels, J. (2018). *Light pollution & biodiversity : What are the levers of action to limit the impact of artificial lighting on nocturnal fauna ?* <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02314264>
- Pauwels, J., Viol, I. L., Azam, C., Valet, N., Julien, J.-F., Bas, Y., Lemarchand, C., Miguel, A. S. de, & Kerbiriou, C. (2019). Accounting for artificial light impact on bat activity for a biodiversity-friendly urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 183, 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.030>
- Pérez Vega, C., Zielinska-Dabkowska, K., Schroer, S., Jechow, A., & Hölker, F. (2022). A Systematic Review for Establishing Relevant Environmental Parameters for Urban Lighting : Translating Research into Practice. *Sustainability*, 14, 1107. <https://doi.org/10.3390/su14031107>
- Perkin, E. K., Hölker, F., & Tockner, K. (2014). The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshw Biol*, 59, 368-377. <https://doi.org/doi:10.1111/fwb.12270>
- Petrželková, K. J., Downs, N. C., Zupal, J., & Racey, P. A. (2006). A comparison between emergence and return activity in pipistrelle bats *Pipistrellus pipistrellus* and *P. pygmaeus*. In *Acta Chiropterologica* (Vol. 8, Numéro 2, p. 381-390). BioOne. <https://doi.org/10.3161/150811006779398726>
- Rowse, E. G., Harris, S., & Jones, G. (2016). The Switch from Low-Pressure Sodium to Light Emitting Diodes Does Not Affect Bat Activity at Street Lights. *PLoS One*, 11(3), e0150884. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150884>
- Rowse, E. G., Harris, S., & Jones, G. (2018). Effects of dimming light-emitting diode street lights on light-opportunistic and light-averse bats in suburban habitats. *Royal Society Open Science*, 5(6). <https://doi.org/10.1098/rsos.180205>
- Rowse, E. G., Lewanzik, D., Stone, E. L., Harris, S., & Jones, G. (2016). Dark Matters : The Effects of Artificial Lighting on Bats. In *Bats in the Anthropocene : Conservation of Bats in a Changing World* (p. 187-213). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9_7
- Russo, D., Ancillotto, L., Cistrone, L., Libralato, N., Domer, A., Cohen, S., & Korine, C. (2018). Effects of artificial illumination on drinking bats : A field test in forest and desert habitats. *Animal Conservation*, 0(0). <https://doi.org/10.1111/acv.12443>
- Russo, D., Cistrone, L., Libralato, N., Korine, C., Jones, G., & Ancillotto, L. (2017). Adverse effects of artificial illumination on bat

drinking activity. *Animal Conservation*. <https://doi.org/10.1111/acv.12340>

Rydell, J. (1992). Exploitation of Insects around Streetlamps by Bats in Sweden. *Functional Ecology*, Vol. 6, No. 6, 744-750.

Rydell, J. (2006). Bats and their insect prey at streetlights. In I. Press (Éd.), *Ecological consequences of artificial night lighting* (p. 43-60).

Rydell, J., Eklöf, J., & Sánchez-Navarro, S. (2017). Age of enlightenment : Long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches. *The Royal Society Publishing*. <https://doi.org/10.1098/rsos.161077>

Rydell, J., Entwistle, A., & Racey, P. A. (1996). Timing of Foraging Flights of Three Species of Bats in Relation to Insect Activity and Predation Risk. *Oikos*, 76(2), 243-252.

Rydell, J., Michaelsen, T. C., Sanchez-Navarro, S., & Eklöf, J. (2021). How to leave the church : Light avoidance by brown long-eared bats. *Mammalian Biology*, 101(6), 979-986. <https://doi.org/10.1007/s42991-021-00154-x>

Sanchez de Miguel, A., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., & Gaston, K. J. (2021). First Estimation of Global Trends in Nocturnal Power Emissions Reveals Acceleration of Light Pollution. *Remote Sensing*, 13(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/rs13163311>

Sanders, D., Frago, E., Kehoe, R., Patterson, C., & Gaston, K. J. (2020). A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology & Evolution*, 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01322-x>

Spoelstra, K., Ramakers, J. J. C., van Dis, N. E., & Visser, M. E. (2018). No effect of artificial light of different colors on commuting Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) in a choice experiment. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 329(8-9), 506-510. <https://doi.org/10.1002/jez.2178>

Spoelstra, K., van Grunsven, R. H. A., Ramakers, J. J. C., Ferguson, K. B., Raap, T., Donners, M., Veenendaal, E. M., & Visser, M. 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 of London B: Biological Sciences*, 284(1855). <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0075>

Stone, E. (2013). *Bats and Lighting. Overview of current evidence and mitigation*. Bats and Lighting Research Project, University of Bristol. <http://www.batsandlighting.co.uk/downloads/lightingdoc.pdf>

Stone, E., Harris, S., & Jones, G. (2015). Impacts of artificial lighting on bats : A review of challenges and solutions. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2015.02.004>

Stone, E., Jones, G., & Harris, S. (2009). Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Current Biology*, 19, 1-5.

Stone, E. L., Jones, G., & Harris, S. (2012). Conserving energy at a cost to biodiversity ? Impacts of LED lighting on bats. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j., 1365-2486.

Straka, T. M., Greif, S., Schultz, S., Goerlitz, H. R., & Voigt, C. C. (2020). The effect of cave illumination on bats. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00808. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00808>

Straka, T. M., Wolf, M., Gras, P., Buchholz, S., & Voigt, C. C. (2019). Tree Cover Mediates the Effect of Artificial Light on Urban Bats. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00091>

Szaz, D., Horvath, G., Barta, A., Robertson, B., Farkas, A., Egri, A., Tarjanyi, N., Racz, G., & Kriska, G. (2015). Lamp-lit bridges as dual light-traps for the night-swarming mayfly, *Ephoron virgo* : Interaction of polarized and unpolarized light pollution. *PLoS One*, 10. <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pone.0121194>. eCollection 2015.

Urbano, T., Vinceti, M., Wise, L. A., & Filippini, T. (2021). Light at night and risk of breast cancer : A systematic review and dose-response meta-analysis. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s12942-021-00297-7>

Voigt, C. C., Dekker, J., Fritze, M., Gazaryan, S., Hölker, F., Jones, G., Lewanzik, D., Limpens, H. J. G. A., Mathews, F., Rydell, J., Spoelstra, K., & Zagmajster, M. (2021). The Impact Of Light Pollution On Bats Varies According To Foraging Guild And Habitat Context. *BioScience*, biab087. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab087>

Voigt, C. C., Roeleke, M., Marggraf, L., Petersons, G., & Voigt-Heucke, S. L. (2017). Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. *Plos One*.

Voigt, C. C., Scholl, J. M., Bauer, J., Teige, T., Yovel, Y., Kramer-Schadt, S., & Gras, P. (2020). Movement responses of common noctule bats to the illuminated urban landscape. *Landscape Ecology*, 35(1), 189-201. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00942-4>

Xu, Y., Zhang, J., Tao, F., & Sun, Y. (2023). Association between exposure to light at night (LAN) and sleep problems : A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Science of The Total Environment*, 857, 159303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159303>

Zeale, M. R. K., Stone, E. L., Zeale, E., Browne, W. J., Harris, S., & Jones, G. (2018). Experimentally manipulating light spectra reveals the importance of dark corridors for commuting bats. *Global Change Biology*, 24(12), 5909-5918. <https://doi.org/10.1111/gcb.14462>



Réunions au cours du projet

24 février 2023 – Réunion de terrain le soir sous les luminaires autour du Musée du son. Cette soirée nous a permis de présenter notre démarche en réalisant quelques mesures qui ont amorcées la discussion sur les besoins en éclairages et la mise en regard de la quantité de lumière ressentie par rapport à la quantité mesurée objectivement. Nous avons notamment discuté sur l'éclairage au niveau du pont sur le ru du Bourdon, des enjeux écologiques liés à la rivière et d'une ruelle ressentie comme mal éclairée à proximité.

Étaient présents aux cotés d'Athena-lum (Hélène Foglar et David Loose) : Johann Blondet (3ème adjoint en charge de l'éclairage public), la chargée de communication de la Communauté de communes), M. Morisset (vice-président en charge de l'environnement à la Communauté de communes), Cécile Lemoine (chargée de mission Natura 2000) et Vincent Thomas (journaliste à l'Yonne républicaine).

27 février 2023 – Réunion en mairie avec Marie-Laure Michot (responsable du service éclairage public au SDEY) et Johann Blondet (adjoint en charge de l'éclairage public). Le SDEY nous a précisé un certain nombre de données techniques sur l'éclairage, notamment sur la question du fonctionnement des modulations permises par le système connecté. Suite à cette réunion nous avons obtenu un accès à la consultation du tableau de bord en temps réel pour connaître les caractéristiques de chaque point lumineux.

27 février 2023 - Réunion au siège de la Communauté de communes avec Rachel Masse et Simon Jolly du Pôle Aménagement du Territoire. Échanges sur les entreprises présentes et les angles d'approches concernant les éclairages extérieurs.

28 avril 2023 – Réunion en mairie dans le cadre des ateliers Renoir Étude. La commune nous a expliqué sa ligne politique concernant l'éclairage et ses projets. La municipalité est très contente de son système d'éclairage connecté qui lui permet des réglages fins en fonction des remontées de la population et en fonction des enjeux écologiques. L'adjoint en charge de l'éclairage qui pilote les ajustements nous a indiqué avoir appliqué le programme « nuits noires » sur les 2 points lumineux en bord du ru du Bourdon qui avaient fait l'objet d'une discussion en février dernier.

Déambulation le soir sous les luminaires pour échanger sur les ressentis en fonction des mesures objectives. La ruelle près du ru du Bourdon, qui avait parue insuffisamment éclairée en février dernier, a bénéficiée de la baisse d'éclairage (programme « nuits noires ») appliqué aux luminaires à proximité ; cette expérience est intéressante car elle montre que la baisse de contraste a procuré un sentiment d'éclairage suffisant dans cette ruelle sans qu'il y ait eu de changement d'intensité.

Étaient présents aux cotés d'Athena-lum (Hélène Foglar et David Loose) : M. Charpentier (mairie), Patricia Blondet (élue), Brigitte Jacquot (2ème adjointe), M. Morisset (vice-président en charge de l'environnement à la Communauté de communes), Cécile Lemoine (chargée de mission Natura 2000) et Pauline Noail (chargée de communication pour la mairie) ; pour l'équipe Renoir Études : Samuel Challéat, Charles Ronzani.

29 avril 2023 – Atelier « Dessine moi ta nuit » à destination du grand public, animé par Charles Ronzani (paysagiste spécialisé dans les paysages nocturnes, Renoir Étude). Les participants ont été invités à exprimer par le dessin ou le récit leurs expériences de la nuit à Saint-Fargeau et à échanger avec les autres participants (5 personnes présentes aux cotés de Renoir Études et d'Athena-lum).

Le soir, Samuel Challéat a donné une conférence sur les différents enjeux autour de l'environnement nocturne.

18 juillet 2023 - Réunion en mairie au sujet de la rénovation de la mise en valeur lumineuse du château et du beffroi en présence de M. le Maire, M. Morisset, M. Blondet, Mme Michot, C. Lemoine et de J-Y. Soetinck concepteur lumière. J-Y. Soetinck a présenté l'évolution du métier de concepteur lumière. La prise en compte de l'environnement nocturne et de la biodiversité, qui n'étaient pas un sujet de préoccupation encore récemment, deviennent des thématiques importantes. L'évolution de la technique aidant, les mises en valeur lumineuses peuvent être plus discrètes et plus subtiles. Il a ainsi présenté les différentes possibilités qui pourraient être mises en œuvre sur le château et le beffroi pour impacter le moins possible le ciel nocturne et la biodiversité.



19 juillet – Visite du château, et notamment des combles (Hélène Foglar et David Loose) puis réunion au château avec M. Guyot, M. le Maire et C. Lemoine. Cette réunion a permis un échange entre les trois parties : le propriétaire du château (qui bénéficie à la fois de l'éclairage géré par la commune mais qui est parfois impacté par des éblouissements), la municipalité (qui a la charge de l'éclairage et qui envisage une rénovation de la mise en valeur lumineuse de ce monument important pour l'image de la commune) et la communauté de commune (qui a la charge de la gestion du site Natura 2000, dont les espèces cibles sont les chauves-souris, notamment la colonie de Grands Murins en déclin dans les combles du château).

Le propriétaire du château a pu exprimer ses attentes au sujet du nouvel éclairage, notamment l'absence d'éblouissement, Monsieur le Maire lui a fait part des réflexions en cours avec le concepteur lumière et lui a précisé que l'éclairage ne serait pas excessif. Cette réunion a également permis d'amorcer un échange avec la communauté de commune pour des suivis réguliers de la colonie de Grands Murins en vu de réduire ses nuisances tout en assurant la restauration et le maintien des populations à l'avenir.



Éclairage orange du château : une ambiance qui renvoie au soleil couchant



Proposition de courrier type aux entreprises

Mairie de Saint-Fargeau
9 avenue du Général Leclerc
89170 Saint-Fargeau

à Madame ou (Monsieur)
Adresse du propriétaire de l'enseigne, de la vitrine, ou
du local

Objet : Information concernant le fonctionnement des installations lumineuses extérieures

Madame ou (Monsieur),

La municipalité de Saint-Fargeau a fait de la sobriété énergétique un enjeux majeur du mandat. Cette préoccupation rejoint également notre volonté de préserver la biodiversité et la qualité de vie des habitants.

A ce titre nous avons engagé un travail sur nos éclairages nocturnes en rénovant nos installations et en réduisant globalement les intensités lumineuses et particulièrement en cœur de nuit lorsque les usages sont moindres. Nous poursuivons actuellement des réflexions afin d'amplifier ces améliorations.

Nous constatons qu'un certain nombre d'éclairages privés dénotent dans notre paysage nocturne et font l'objet de remarques de nos concitoyens. Pour une cohérence globale des ambiances lumineuses de notre bourg et pour le cadre de vie de tous, nous comptons sur vous pour respecter la réglementation en vigueur et, si possible, aller au-delà des exigences réglementaires.

La réglementation concerne les bâtiments non résidentiels (vitrines, façades, parkings, voies de circulation) ainsi que les dispositifs publicitaires (enseignes, préenseignes et informations publicitaires). Hors dérogation (travail de nuit, services 24h/24 ou services de garde), les dispositifs lumineux doivent être éteints en milieu de nuit. La réglementation prescrit également des obligations en matière de couleur de la lumière (les lumières très blanches ne sont plus autorisées) et de quantité de lumière installée. Nous attirons votre attention sur les produits vendu sur Internet qui ne respectent pas toujours la réglementation française.

Nos services se tiennent à votre disposition pour toute assistance ou complément d'information.



Planche contact des photos fournies - 1/3

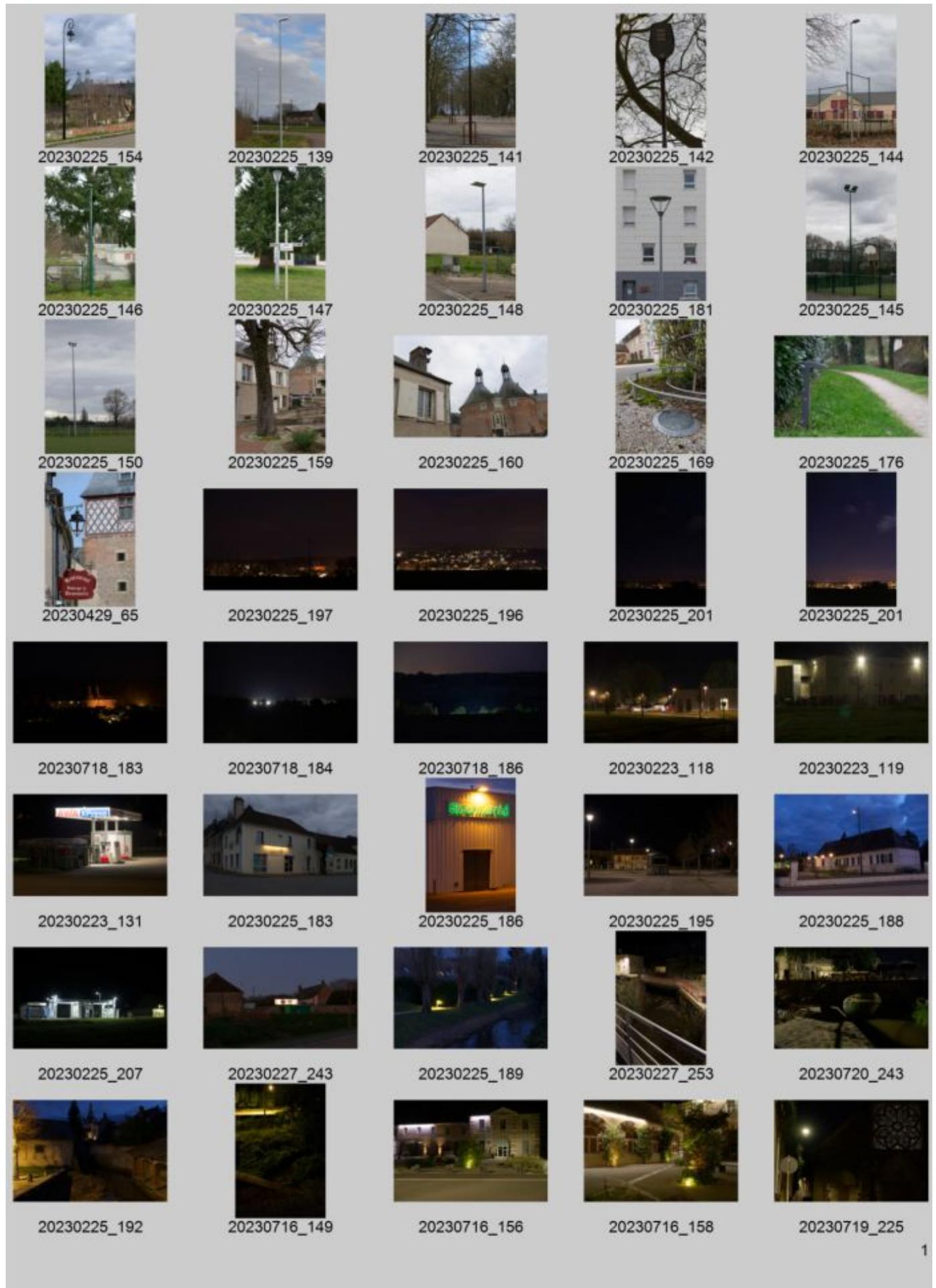


Planche contact des photos fournies - 2/3

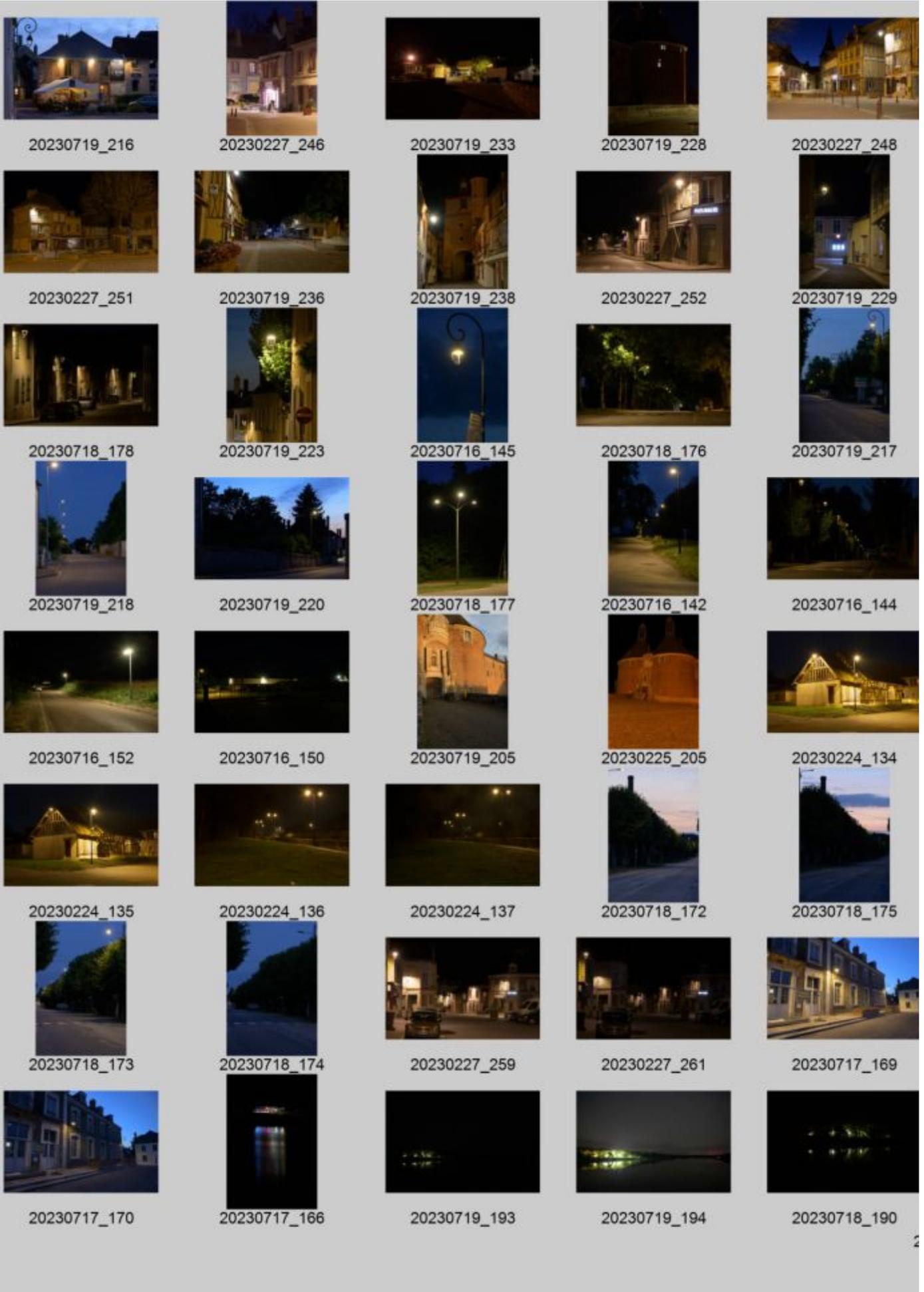


Planche contact des photos fournies - 3/3



20230718_191

Calendriers de modulation de l'éclairage (extrait de la plate-forme de gestion)

Calendars Calendrier d'économie d'énergie 302
 The calendar is applied to 302 streetlights.

[Submit to streetlights](#)

Schedule **Shapes**

- weekend au weekend
- weekend au jour de la semaine**
- Jour de la semaine au weekend
- Jour de la semaine au jour de la semaine
- Default

Switching points

12:00	75%
21:00	10%
23:00	5%
06:00	75%

On/Off

Turn lights off during the daytime.

Calendars Calendrier d'économie d'énergie 302
 The calendar is applied to 302 streetlights.

[Submit to streetlights](#)

Schedule **Shapes**

- weekend au weekend**
- weekend au jour de la semaine
- Jour de la semaine au weekend
- Jour de la semaine au jour de la semaine
- Default

Switching points

12:00	75%
21:00	10%
23:00	5%
01:00	1%
06:00	75%

On/Off

Turn lights off during the daytime.

Calendars Calendrier Nuits noires 76
 The calendar is applied to 76 streetlights.

[Submit to streetlights](#)

Schedule **Shapes**

- Default**

Switching points

12:00	75%
19:00	5%
20:00	1%
22:00	0%
07:30	75%

On/Off

Turn lights off during the daytime.



Liste des abréviation

ALAN : artificial light at night (lumière artificielle nocturne).

et al. : locution latine abréviation de « *et alii* » pour nommer d'autres auteurs dans les publications scientifiques.

BF : "ballon fluo", nom d'usage pour les ampoules à vapeur de mercure haute pression.

HM : halogénure métallique.

LED : light emitting diode (diode électroluminescente).

SHP : sodium haute pression

Sp. : abréviation du mot latin *species*, qui signifie « espèce », au singulier. Cette abréviation s'emploie souvent après le nom d'un genre, pour indiquer « espèce non précisée ».

Spp. : abréviation du mot latin *species plurimae*, pour désigner plusieurs espèces non identifiées au sein d'un genre.

SIG : système d'information géographique.

ULR : Upward light ratio (proportion de lumière sortant du luminaire émise au-dessus de l'horizontale).