

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

La notion de « Trame noire » a fait son apparition depuis quelques années, s'ajoutant à celle de « Trame verte et bleue » déjà bien connue. L'objectif est de limiter la dégradation et la fragmentation des habitats dues à l'éclairage artificiel par l'intermédiaire d'un réseau écologique formé de réservoirs et de corridors propices à la biodiversité nocturne. Plusieurs démarches de trames noires sont en cours ou même déjà achevées en France. Cet article présente deux projets menés dans des territoires très contrastés, l'un dans le Parc national des Pyrénées et l'autre sur la Métropole européenne de Lille.



Depuis des milliards d'année, la Terre vit au rythme d'une alternance de jour et de nuit et ce facteur extérieur – extrêmement stable sur le temps long – a profondément structuré l'évolution du vivant. Or, le développement des sociétés humaines s'est traduit par une urbanisation massive ces dernières décennies, qui s'est elle-même accompagnée d'une multiplication des éclairages artificiels nocturnes. Ceux-ci génèrent alors une pollution lumineuse qui engendre des effets néfastes dans plusieurs domaines et en particulier celui de la biodiversité.

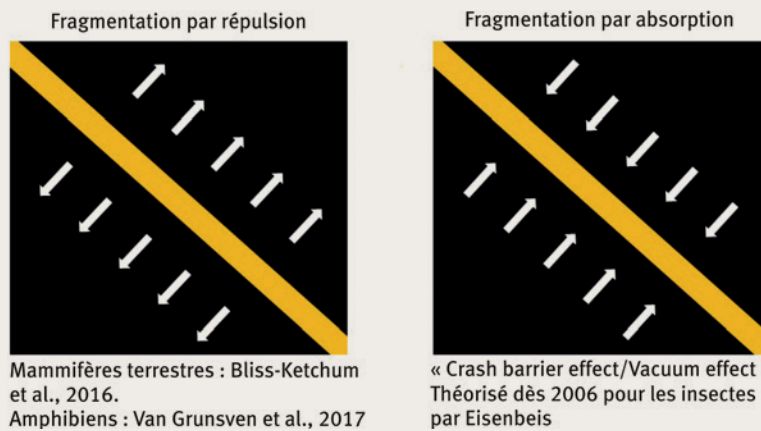
En effet, par un pouvoir d'attraction ou de répulsion selon les espèces, la lumière artificielle nocturne perturbe les déplacements de la faune. Ce phénomène se répercute à l'échelle des populations et des répartitions d'espèces : certaines étant inévitablement désorientées vers des pièges écologiques, et d'autres voyant leur habitat se dégrader ou disparaître (Picchi *et al.*, 2013). Depuis peu, il est également démontré que l'éclairage nocturne peut constituer des zones infranchissables pour certains animaux à l'échelle d'un paysage (Van Grunsven *et al.*, 2017), occasionnant ainsi une fragmentation des populations (figure 1). La pollution lumineuse agit également sur d'autres niveaux de la biodiversité tels que les relations interspécifiques, notamment la relation proie/prédateur et la pollinisation/dispersion des graines (Knop *et al.*, 2017). Elle a donc potentiellement des effets sur les services rendus par les écosystèmes. Elle désynchronise aussi les horloges biologiques chez la faune et la flore. Au final, elle touche tous les groupes biologiques et tous les milieux (terrestres, aquatiques, marins...).

Lorsque la politique « Trame verte et bleue » (TVB) a été initiée en 2007, la problématique de la pollution lumineuse était émergente dans la sphère politique et opérationnelle malgré une littérature scientifique déjà abondante. En revanche, en l'espace de dix ans, ces enjeux ont profondément percolé dans les territoires et dans la société, et ils sont désormais de plus en plus pris en compte par les écologues et les gestionnaires d'espaces naturels, mais aussi par les collectivités, les urbanistes ou encore les éclairagistes.

Afin de réduire la disparition et la fragmentation des habitats par la lumière artificielle nocturne, les réseaux écologiques représentent précisément un levier adapté. Il existe plusieurs manières d'intégrer cette problématique dans une TVB. L'une des possibilités est d'identifier des zones de conflits entre la TVB et la pollution lumineuse. C'est ainsi que dès 2012, le Parc naturel régional des Causses du Quercy a initié une démarche en ce sens (Granier, 2012). Une autre possibilité est d'aller jusqu'à identifier une trame noire, c'est-à-dire des continuités écologiques caractérisées par leur obscurité, à préserver ou restaurer. Ce réseau peut être obtenu à partir d'une Trame verte et bleue déjà caractérisée à laquelle sont soustraites les zones trop lumineuses. Mais il peut aussi être identifié en prenant directement en compte les besoins d'obscurité des espèces nocturnes lors de l'identification des corridors et des réservoirs.

En France, des démarches d'identification de trames noires commencent à émerger ces dernières années (Sordello, 2017). En particulier, deux projets ont été menés dans deux contextes très distincts : l'un dans un espace protégé dédié à la biodiversité, le Parc national des Pyrénées, l'autre dans un milieu urbain dense, l'agglomération européenne de Lille.

❶ Deux phénomènes de fragmentation par la lumière artificielle sont constatés en fonction du phototactisme négatif (fragmentation par répulsion) ou positif (fragmentation par absorption). Source : R. Sordello.



Construction d'une trame noire : l'exemple du parc national des Pyrénées

Mieux connaître et limiter l'impact de la lumière artificielle sur la biodiversité du territoire est un des objectifs que s'est fixé le Parc national des Pyrénées depuis 2015. Co-gestionnaire de la Réserve internationale de ciel étoilé du Pic du Midi aux côtés du Syndicat départemental de l'énergie des Hautes-Pyrénées et du Syndicat mixte pour la valorisation touristique du Pic du Midi de Bigorre, il mène des actions qui concourent à cet objectif partagé. À travers le label de Réserve internationale de ciel étoilé (RICE), décerné par l'*International Dark Sky Association*, la nuit est protégée en tant que patrimoine naturel et culturel, mais aussi reconnue comme exceptionnellement pure. La RICE du Pic du Midi a été la première labélisée en France. D'une surface de 3 112 km² (65 % du département des Hautes-Pyrénées) et peuplée de plus de 80 000 habitants (247 communes, 40 000 points lumineux), il s'agit de la plus grande RICE du monde en termes de surface habitée. Elle comprend une grande partie de la zone cœur du parc national et de nombreux autres sites classés et/ou préservés (réserves naturelles régionales, réserves naturelles nationales, sites classés et sites inscrits au Patrimoine mondial de l'UNESCO). Dédiée à la protection de nos nuits, notamment à travers l'éducation du public et la mise en place d'un éclairage responsable, la RICE est également la source d'un développement territorial.

Depuis deux ans, le Parc national des Pyrénées s'est engagé avec le Parc naturel régional des Pyrénées ariégoises et la Réserve naturelle régionale du Pibest-Aoulhet dans le projet « Adaptation des territoires » (Adap'Ter), financé par les régions Occitanie et Nouvelle-Aquitaine. L'objectif, pour le parc national, est d'identifier la Trame verte et bleue de son territoire – réseau de continuités écologiques nécessaire aux déplacements de la faune – en y intégrant l'impact de la pollution lumineuse. Le bureau d'étude Dark Sky Lab a ainsi été missionné afin de réaliser une modélisation précise (à l'échelle du lampadaire) de la qualité du ciel étoilé et définir un seuil de sensibilité à la pollution lumineuse pour les chiroptères (appelés couramment chauves-souris – photo ❶).

Des cartes de modélisation de pollution lumineuse haute résolution

Dans un premier temps, un outil de modélisation appelé Otus a été développé. Ce logiciel utilise des bases de données référencant la géolocalisation des sources lumineuses et leurs caractéristiques physiques et techniques. Chaque source discrète (associée par exemple à un lampadaire) est caractérisée en particulier par sa puissance ou son ULOR (*Upward Light Output Ratio*), c'est-à-dire la quantité de lumière émise au-dessus de l'horizontale et directement perdue vers le ciel. Du fait de l'utilisation de sources discrètes, le modèle implémenté dans Otus permet de produire des cartes de modélisation de pollution lumineuse haute résolution conformément à l'implantation réelle des réseaux d'éclairage.

Mesurer la luminosité du fond du ciel nocturne fut un prérequis fondamental au projet. Les modélisations ont été consolidées par des relevés de terrain. Ces mesures ont été réalisées dans des environnements variés, depuis le sommet d'une montagne isolée jusqu'à des environnements urbains fortement impactés par la lumière artificielle. De même, leur répétabilité était importante car elle permet de s'affranchir de conditions d'observation spécifiques non



▶ optimales telles que la présence de nuages, la présence de la lune, qui viendraient ponctuellement dégrader les relevés de la luminosité du ciel. En combinant la modélisation de la pollution lumineuse à ces relevés de terrain, Dark Sky Lab a pu développer des cartes précises.

Les cartes de modélisation de la pollution lumineuse présentent un dégradé de couleurs représentatif de la qualité du ciel (figure 2). À chaque couleur correspond une mesure de qualité de ciel, l'unité de ces mesures étant la magnitude par arc seconde au carré (mag/arcsec²), c'est-à-dire la brillance du fond du ciel dans un carré d'une seconde d'arc de côté.

La carte présentée utilise une échelle de couleur dérivée de l'échelle de Bortle¹ et qui va du rouge foncé (ciel de très mauvaise qualité entre 17 et 19 mag/arcsec²) jusqu'au gris clair (ciel de référence sans aucune pollution lumineuse à

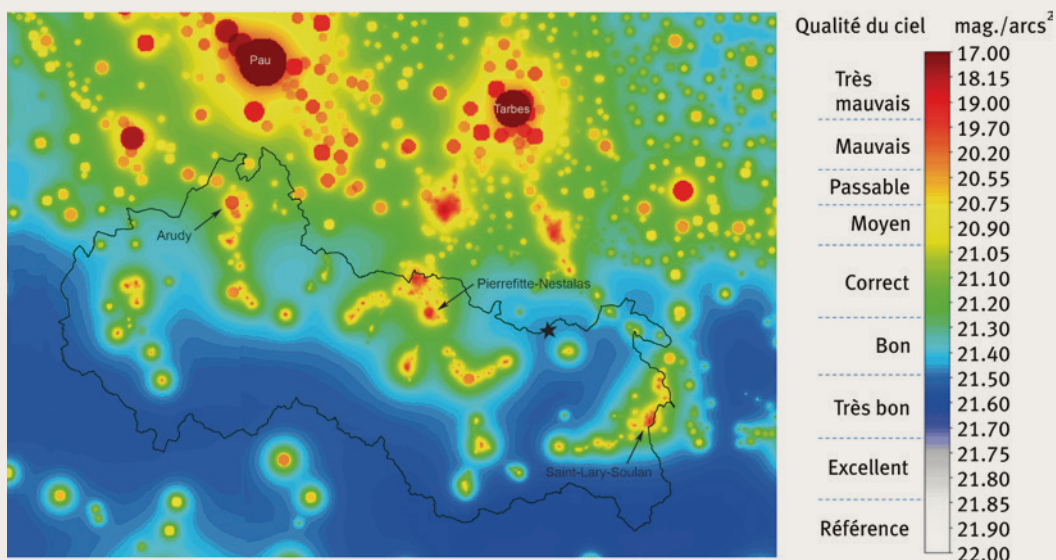
22 mag/arcsec²). La luminosité naturelle du fond du ciel, sans lune, est en moyenne estimée à 21,6 mag/arcsec² et un ciel pur serait à 24 mag/arcsec².

Une trame noire calée sur le seuil de sensibilité à la lumière de deux familles de chauves-souris

Dans un second temps, Dark Sky Lab a récolté puis utilisé des données d'observation existantes d'observation de deux familles de chauves-souris lucifuges (fuyant la lumière) : les Murins et les Rhinolophes. En comparant la présence de ces espèces aux données de pollution lumineuse, leur seuil de sensibilité à la lumière a pu être établi à 21,3 mag/arc.sec².

1. Cette échelle a été définie dans l'édition de février 2001 du magazine *Sky & Telescope* par John Bortle. Voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Échelle_de_Bortle

2 Modélisation OTUS de la pollution lumineuse sur le territoire du Parc national des Pyrénées (source : Dark Sky Lab).



— Aire optimale d'adhésion du Parc national des Pyrénées
 ★ Pic du Midi-de-Bigorre

Le tableau ci-dessous fournit les magnitudes limites approximatives visibles à l'œil nu pour chaque niveau de couleur ainsi que le nombre d'étoiles qui seraient visibles pour la magnitude limite correspondante depuis un point d'observation situé à la latitude de Toulouse dans la nuit du 27 mars 2017 (au-dessus de 10° de hauteur et en étant protégé d'un éclairage direct).

Couleur	Magnitude limite	Nombre d'étoiles visibles	Voie lactée
(Gris clair)	≥ 7	> 6 700	Spectaculaire
(Gris)	≥ 6,5	> 3 800	Très détaillée
(Bleu clair)	6	2 170	Nombreux détails
(Bleu)	5,5	1 180	Quelques détails
(Vert clair)	5,25	950	Affaiblie à l'horizon
(Vert)	5	660	Visible au zénith
(Jaune)	4,75	520	À peine visible
(Orange)	4,5	340	Presque invisible
(Rouge clair)	4,25	220	Invisible
(Rouge)	4	180	Invisible
(Rouge foncé)	≤ 3,5	≤ 90	Invisible

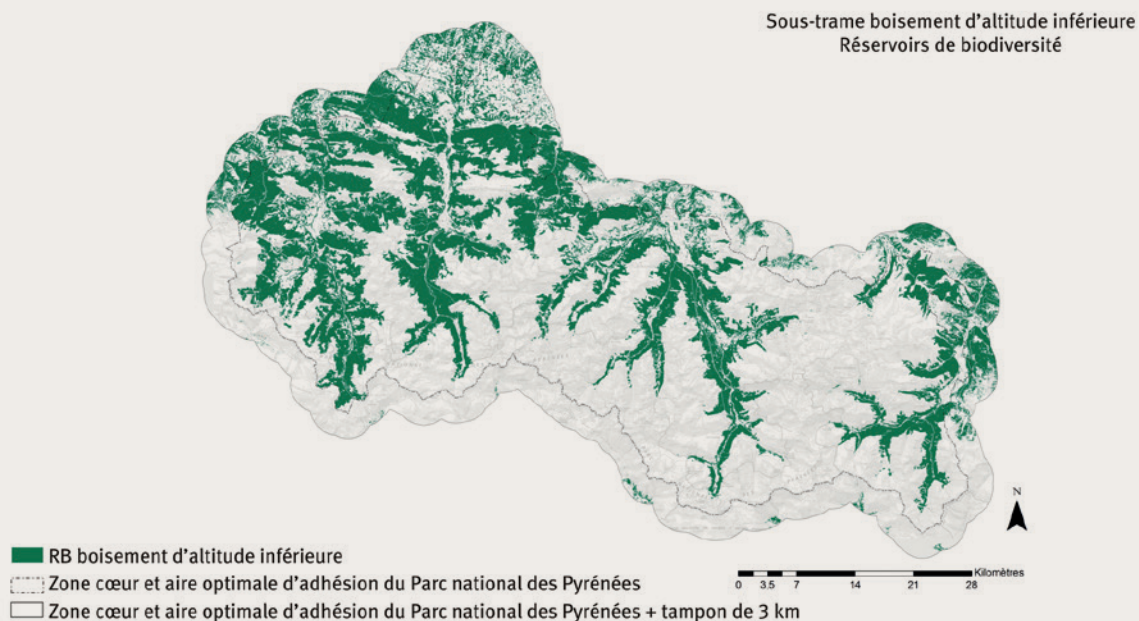
Le Parc national des Pyrénées a ensuite intégré ce seuil lors de la réalisation de son schéma Trame verte et bleue. La pollution lumineuse a ainsi fait partie des critères permettant d'identifier si un espace pouvait être considéré comme un réservoir de biodiversité au même titre que l'évaluation de la compacité, la connectivité, etc. Une note qualitative a été attribuée en fonction de ces différents critères. Ainsi :

- les réservoirs situés dans des zones de faible pollution lumineuse avec des valeurs de plus de 21,3 mag/arc.sec² ont une note qui n'est pas dégradée ;
- les réservoirs situés dans des zones de pollution lumineuse moyenne avec des valeurs comprises entre 20 et 21,3 mag/arc.sec² ont une note dégradée de - 1 points ;

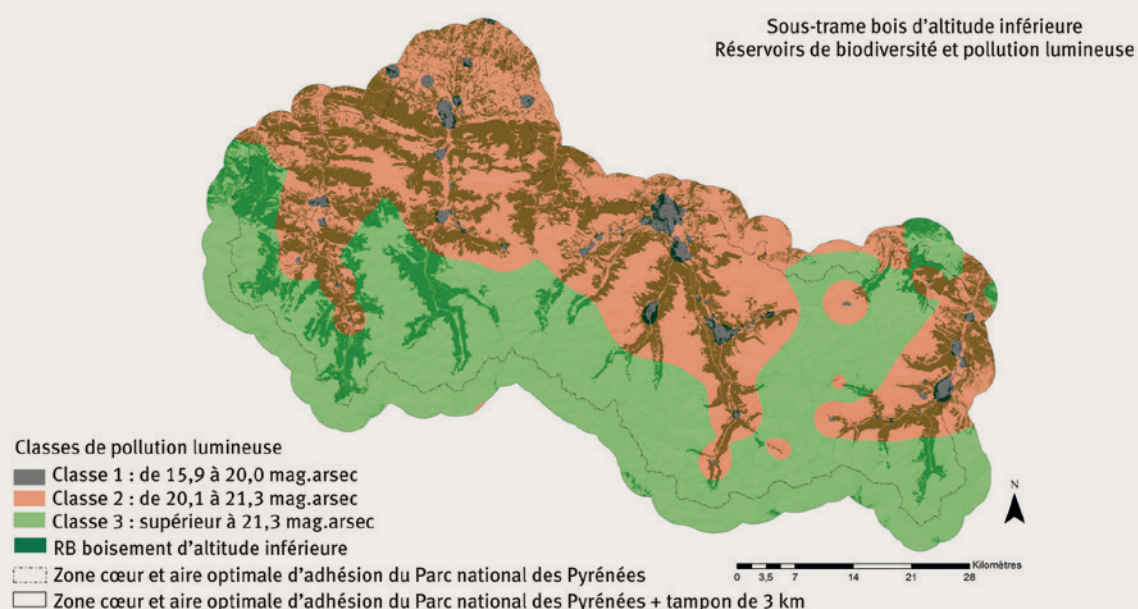
- les réservoirs situés dans des zones de forte pollution lumineuse avec des valeurs inférieures à 20 mag/arc.sec² (valeur coïncidant le plus souvent à des espaces fortement urbanisés) ont une note dégradée de - 2 points.

Cette méthode a été appliquée à tous les réservoirs de toutes les sous-trames paysagères identifiées pour la Trame verte et bleue (figure 3). Ce travail est encore en cours d'élaboration et doit être complété par une étude sur les chiroptères afin de confirmer et, si besoin, préciser la valeur du seuil de sensibilité à la lumière. Une concertation avec les communes sera menée en parallèle pour favoriser la conversion de l'éclairage des zones à enjeux faunistiques qui auront été identifiées grâce à la méthode précédente.

3 Exemple d'intégration du facteur « pollution lumineuse » dans la définition des réservoirs de biodiversité pour la sous-trame de boisement d'altitude inférieure (source : Cerema Sud-Ouest).



Sources : RHEIA - UEP - BD Topo - BD Forêt@ version 2 - Scan 100 - BD ALTI ED15 - Données PNP, CEN et DREAL. Réalisé par Cerema Sud-Ouest - juin 2017



Sources : RHEIA - UEP - BD Topo - BD Forêt@ version 2 - Scan 100 - BD ALTI ED15 - Données PNP, CEN et DREAL. Réalisé par Cerema Sud-Ouest - juin 2017

Vers une trame noire sur la métropole de Lille

La métropole européenne de Lille renouvelle son parc d'éclairage public et en profite pour réfléchir à la mise en place d'une trame noire afin d'améliorer la connectivité des espaces obscurs. Elle s'appuie pour cela sur un consortium de recherche pluridisciplinaire : le bureau d'étude Biotope, l'université de Lille, le Muséum national d'histoire naturelle de Paris, le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier appuyés par la ville de Lille, les espaces naturels Lille Métropole et une association naturaliste, la Coordination mammalogique du Nord de la France.

Le projet TRAMENOIRE est un programme de recherche porté par le bureau d'études Biotope. Il émane d'un appel à projets de recherche « Biodiversité » lancé par la Région Nord-Pas de Calais (désormais Région Hauts-de-France) et la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB) en 2014. Par ailleurs, il est soutenu et labellisé par le programme « Infrastructure de transport terrestre écosystème et paysage (ITTECOP) » du ministère de la Transition écologique et solidaire et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

Ce projet cherche à répondre à trois questions :

- Peut-on s'appuyer sur le réseau de corridors existant pour le développement d'une trame noire locale ?
- Quel est l'état actuel de la connectivité écologique nocturne à l'échelle de la Métropole ?

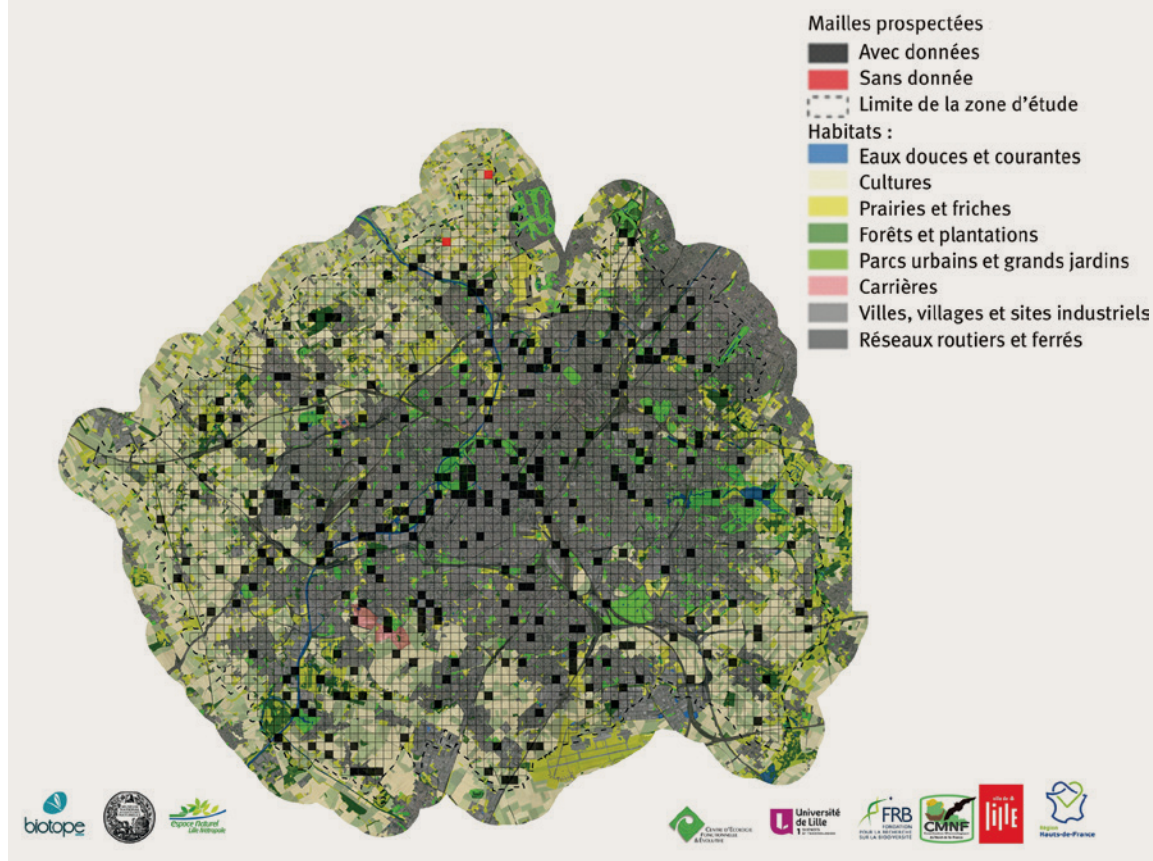
- Peut-on améliorer cette connectivité en réduisant l'intensité lumineuse ?

Pour y répondre, un premier volet écologique s'est appuyé sur des inventaires de chauves-souris pour identifier et mettre en œuvre les trames noires dans l'espace. En complément, des études sociologiques ont été menées pour mesurer le niveau d'acceptabilité sociale de l'évolution des modes d'éclairage et l'appropriation du projet par les riverains.

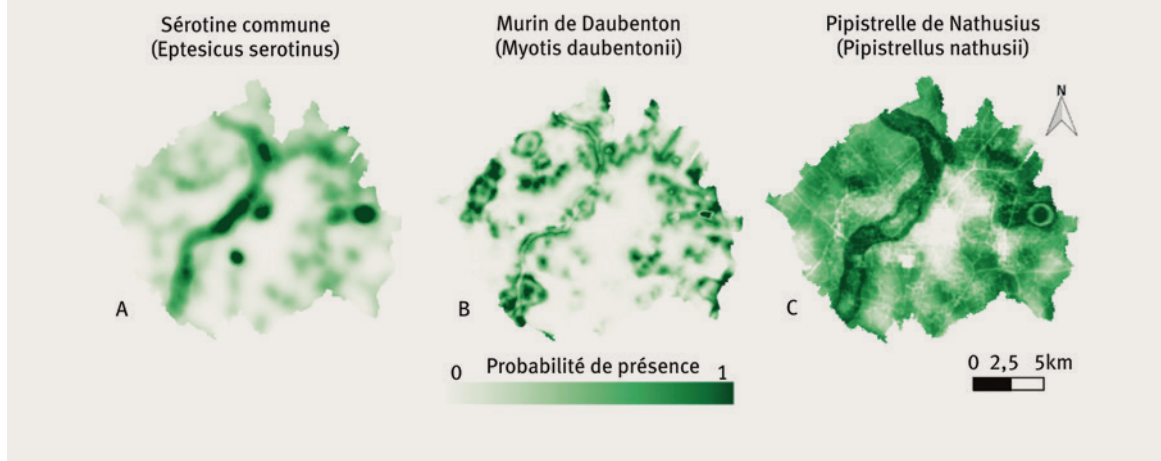
Modéliser les trames noires à partir de la distribution spatiale des chauves-souris

La première étape du projet basée sur des inventaires écologiques a permis de déterminer la diversité des espèces de chauves-souris présentes sur l'aire d'étude puis de quantifier leur niveau d'activité. Trois cent quatre-vingt-dix-neuf sites ont été sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques environnementales. L'objectif était de pouvoir comparer des milieux présentant des gradients d'intensité lumineuse, d'urbanisation, de présence de cours d'eau ou d'éléments arborés... Les inventaires ont ainsi été réalisés sur des nuits complètes (trois cent cinq sites en 2015 et quatre-vingt-quatorze sites en 2016) dans les secteurs les plus contrastés de l'aire d'étude (figure 4), depuis les territoires ruraux exempts d'éclairages jusqu'aux secteurs urbains intensément éclairés.

4 Localisation des points d'échantillonnage sur le territoire de la métropole européenne de Lille (source : Biotope).



5 Exemple de la probabilité de présence de trois espèces de chauves-souris à l'échelle du territoire de la métropole européenne de Lille (source : Biotope).



Du fait de son intensité (durée d'un mois et large échelle spatiale), l'effort d'échantillonnage mis en place pour ce projet est unique au monde pour des milieux urbains et périurbains.

Au total, neuf espèces de chauves-souris, toutes protégées (soit 40% de la diversité régionale en chiroptères), ont été recensées sur le territoire de la métropole européenne de Lille. Ce résultat est particulièrement intéressant et inattendu pour un territoire très anthropisé et donc *a priori* peu favorable aux chauves-souris.

La répartition des différentes espèces est cependant très variable : si certaines espèces comme la Pipistrelle commune sont présentes sur l'ensemble du territoire, d'autres espèces (groupe des Sérotines ou des Noctules) présentent des aires de répartition nettement plus réduites. L'intégration des données écologiques dans un modèle numérique a permis de comprendre l'influence de la pollution lumineuse sur la distribution spatiale et l'activité des chiroptères.

Les modélisations ont permis de prédire et cartographier la distribution attendue de quatre espèces² (figure 5).

Du fait de la diversité des exigences écologiques des espèces étudiées, il a été démontré qu'il n'existait pas de trame noire unique, mais plutôt un réseau de corridors dont les caractéristiques varient en fonction des espèces étudiées (localisation, densité, distances...). L'impact direct de l'éclairage est souvent difficile à distinguer d'autres paramètres (artificialisation de l'habitat) et sa perception est variable d'une espèce à l'autre. Les déplacements des chauves-souris en milieu urbain sont donc le fruit de compromis entre l'attrait pour la ressource alimentaire, la nécessité de trouver un gîte et la nuisance occasionnée par l'éclairage.

En dépit de cette variabilité, il s'avère qu'une trame noire principale (favorable à l'ensemble des espèces étudiées) peut être distinguée sur le territoire de la métropole européenne de Lille. Il s'agit d'un cours d'eau, la Deule, qui traverse une partie de l'agglomération. Ce cours d'eau est par ailleurs identifié comme l'une des principales trames

écologiques (trame verte et trame bleue) du territoire. La mise en place d'une trame noire sur un territoire donné semble donc cohérente avec les projets actuels de restauration des continuités écologiques.

Enfin, en vue de recommander des actions concrètes de conservation, quatre scénarios d'éclairage (réduction de l'intensité lumineuse dans les parcs urbains, les autoroutes, dans les communes de moins de dix mille habitants et/ou de plus de dix mille habitants) ont ainsi été testés pour aboutir à des corridors les plus fonctionnels possibles pour les chiroptères.



2 Les Murins de Daubenton font partie de la faune nocturne sensible à la lumière, dont la circulation peut être perturbée par la pollution lumineuse.

2. La Pipistrelle commune *Pipistrellus pipistrellus*, la Pipistrelle de Nathusius *Pipistrellus nathusii*, le Murin de Daubenton *Myotis daubentonii* (photo 2) et la Sérotine commune *Eptesicus serotinus*.

▶ Quelle acceptabilité sociale pour les riverains et les usagers ?

Et pour les hommes ? Ces scénarios sont-ils acceptés par les habitants et par les professionnels de la ville ? Le volet social du projet TRAMENOIRE a aussi pour objectif de conforter le concept de trame noire et d'en optimiser la mise en œuvre opérationnelle. L'étude de sa perception par le public était donc primordiale.

Une analyse réalisée sur plusieurs communes montre que le concept de trame noire en France est encore très jeune et mal défini. Les résultats d'enquête auprès de la population montrent qu'*a priori*, la trame noire est socialement acceptable.

Les enquêtes révèlent la bonne connaissance des citoyens en matière de faune nocturne et ceux-ci ont également conscience de la diversité des espèces avec lesquelles ils cohabitent en zone urbaine et périurbaine. Alors que les espèces nocturnes sont généralement bien appréciées, la chauve-souris suscite beaucoup d'indifférence et intéresse moins de la moitié des enquêtés.

La grande majorité des personnes interrogées s'accordent sur les effets néfastes de l'absence de nuit sur la faune nocturne. D'une manière générale, les citoyens se disent prêts à renoncer au confort que leur octroie l'éclairage public pour protéger ces espèces des impacts de la lumière artificielle.

Les résultats de l'étude mettent en évidence l'intérêt d'associer les riverains dès le début des projets de mise en place d'une trame noire. Il paraît également intéressant d'expérimenter des modifications de l'éclairage public pour étudier les effets sur la biodiversité et pour étudier l'acceptabilité sociale des modes innovants d'éclairage public mis en place lors de la création d'une trame noire.

Les solutions techniques existent (démocratisation des LED) et les modalités d'éclairage sont diverses et peuvent être adaptées aux besoins et/ou aux contraintes locales (extinction totale, partielle, éclairage à la demande...). La frilosité des élus est un frein certain à la démocratisation des trames noires (crainte d'une opposition citoyenne ou de l'insécurité). Afin de favoriser la mise en œuvre de ces trames, un argumentaire à destination des élus a également été élaboré dans le cadre du projet TRAMENOIRE.

Perspectives

Même si la pollution lumineuse est peu mise en avant dans le cadrage national de la TVB en vigueur, défini en 2010, des initiatives ont émergé à l'échelle locale pour prendre en compte cette problématique. Ces projets constituent aujourd'hui des retours d'expériences qui pourront entraîner d'autres démarches. La recherche en écologie a également fortement progressé en dix ans, consolidant le corpus de littérature sur les impacts et apportant de plus en plus d'éléments pour passer à une phase opérationnelle (identification de trames noires, gestion de la lumière artificielle...). Néanmoins, sur ce dernier point, des manques de connaissance persistent. Le groupe des chauves-souris, bien qu'étudié depuis peu, figure désormais parmi les plus concrètement mobilisables, ce qui explique ce choix dans les projets à Lille et dans les Pyrénées. D'autres groupes comme les rapaces nocturnes ou les vers luisants constitueraient probablement de bons modèles ou indicateurs, mais ils font encore l'objet de trop peu d'études appliquées. La recherche doit être encouragée et soutenue en ce sens. ■

Les auteurs

Romain SORDELLO

UMS 2006 Patrimoine Naturel AFB-CNRS-MNH,
61 rue Buffon, CP53, F-75005 Paris Cedex, France.

✉ romain.sordello@mnhn.fr

Olivier JUPILLE et Éloïse DEUTSCH

Parc National des Pyrénées,
Villa Fould, 2 rue du IV septembre,
BP 736, F-65007 Tarbes Cedex, France.

✉ olivier.jupille@pyrenees-parcnational.fr

✉ eloise.deutsch@pyrenees-parcnational.fr

Sébastien VAUCLAIR

Dark Sky Lab,
3 rue Romiguières, F-31000 Toulouse, France.

✉ sebastien@darks skylab.com

Léa SALMON-LEGAGNEUR

Sciences en Bigorre,
2 rue du IV septembre, F-65000 Tarbes Cedex, France.

✉ lea.salmon-l@fermedesetoiles.fr

BAPTISTE FAURE

Biotope, ZA de la Maie, Avenue de l'Europe,
F-62720 Rinxent, France.

✉ Bfaure@biotope.fr

EN SAVOIR PLUS...

✉ **DEVERCHÈRE, P., VAUCLAIR, S., BONAVITACOLA, M.**, 2018, *Mesure et modélisation de la pollution lumineuse*, Dark Sky Lab, 8 p., disponible sur : <http://darks skylab.com/publications/Mesure%20et%20mod%C3%A9lisation%20-%20DarkSkyLab%20-%20mars%202018.pdf>

✉ **GRANIER, H.**, 2012, *Comment prendre en compte la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques ?*, Université Paris Diderot, Application au territoire du Parc naturel régional des Causses du Quercy, 188 p.

✉ **KNOP, E., ZOLLERA, L., RYSERA, R., GERPEA, C., HÖRLERA, M., FONTAINE, C.**, 2017, Artificial light at night as a new threat to pollination, *Nature*, vol. 548, p. 206-209, disponible sur : <https://doi.org/10.1038/nature23288>

✉ **PICCHI, M.-S., AVOLIO, L., AZZANI, A., BROMBIN, O., CAMERINI, G.**, 2013, Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin, *Journal of Insect Conservation*, vol. 17, n° 4, p. 797-805, disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9562-z>

✉ **SORDELLO, R.**, 2017, Pollution lumineuse et Trame verte et bleue : vers une trame noire en France ?, *Territoire en mouvement, Revue de géographie et aménagement*, vol. 35, disponible sur : <https://doi.org/10.4000/tem.4381>

✉ **VAN GRUNSVEN, R.H.A., CREEMERS, R., JOOSTEN, K., DONNERS, M., VEENENDAAL, E.M.**, 2017, Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle, *Amphibia-Reptilia*, vol. 38, p. 49-55, disponible sur : <https://doi.org/10.1163/15685381-00003081>



La crainte d'une opposition citoyenne ou de l'insécurité peut freiner les élus à mettre en place des trames noires dans leur commune.