

Projet de Fin d'Études (PFE) 2023-2024

Situer et adapter les aménagements urbains aux déplacements des chiroptères

Création d'une trame noire adaptée à Chambray-lès-Tours



Source de l'illustration : Parc Chasseral - Philippe Wagneur

Blandine LARDIT

Sous la direction de Francis ISSELIN

Situer et adapter les aménagements urbains aux déplacements des chiroptères.

Création d'une trame noire adaptée à Chambray-lès-Tours

Auteure : Blandine LARDIT

Directeur de recherche : Francis ISSELIN

Année scolaire 2023/2024

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnels, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Études en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

Remerciements

J'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue dans la réalisation de ce projet de fin d'études.

En premier lieu, je remercie M. Francis ISSELIN, mon tuteur de projet, qui a accepté de reprendre la direction de mon projet de fin d'études et qui a pu m'accompagner et me conseiller dans la réflexion et la rédaction de ce mémoire.

Je tiens à remercier M. Louison BIENVENUE, thésard et intervenant dans notre cours d'option ADAGE, qui a pris le temps de me conseiller patiemment et de m'aiguiller dans la démarche scientifique à suivre.

Je remercie également les étudiants d'option ADAGE de la promotion 2024 pour leur soutien. Ils ont permis une émulsion d'idées, de travail et de bonne humeur, préservant ainsi une bonne ambiance générale pendant la rédaction de ce projet de fin d'étude.

Enfin, je remercie ma famille qui a pris le temps de relire et de me conseiller sur la forme de ce mémoire.

Sommaire

Introduction.....	6
I. La pollution lumineuse, une problématique pressante.....	6
II. Chiroptères, les premiers impactés par la lumière artificielle.....	6
III. Retour à la pénombre ; une réflexion sur l'éclairage.....	8
IV. Métropoles, lieux de passages à aménager.....	9
Partie 1 : Matériel et Méthode.....	10
I. Le socle écologique de Chambray-lès-Tours.....	10
A. Trames verte et bleue, les corridors déjà existants.....	10
B. Présence des chauves-souris sur le territoire communal.....	12
II. Situer et identifier la pollution lumineuse.....	13
III. Anticiper la cohérence des aménagements.....	15
Partie 2 : Résultats.....	16
I. Des corridors écologiques adaptés aux chiroptères.....	16
II. Fragmentation par la lumière.....	17
III. Tracé d'une trame noire adaptée.....	19
A. La double fragmentation du territoire.....	19
B. Le retour à la nuit pour des corridors sombres.....	20
IV. Les aménagements à mettre en place.....	21
Partie 3 : Discussion.....	24
I. Aller plus loin dans les aménagements.....	24
II. Le coût de la trame noire.....	24
A. La lumière, une question sociale encore déterminante.....	24
B. Un engagement économique pour la commune.....	25
III. Critique de l'étude.....	26
A. Limites et Manquements.....	26
B. Perspectives du projet.....	27
Conclusion.....	28
Table des figures et des tableaux.....	29
Bibliographie.....	30
Annexes.....	33

Introduction

I. La pollution lumineuse, une problématique pressante

Ces dernières décennies, la croissance des sociétés humaines a conduit à une urbanisation rapide et massive. Selon l'Observatoire national de la biodiversité, chaque année entre 2006 et 2015, environ 65 758 hectares de zones naturelles et espaces agricoles ont été transformés en zones urbanisées en France. En conséquence, l'utilisation de l'éclairage a considérablement augmenté pour répondre aux besoins des activités nocturnes des sociétés modernes. « À l'échelle de la planète, entre 2012 et 2016, la surface des zones éclairées a augmenté d'environ 2,2% par an et la quantité de lumière émise d'environ 1,8% par an. Plus de 80% de la population mondiale vit désormais dans des secteurs disposant d'éclairages nocturnes et cette proportion atteint 99 % en Europe. » (Falchi et al. 2016 ; Sordello et al. 2021). Ces modifications de l'environnement entraînent des préjudices sur tout le vivant. Bien que la flore et l'homme ne soient pas exempts des effets de la pollution lumineuse, nous allons nous concentrer particulièrement sur les répercussions de ces changements environnementaux sur la faune et plus précisément les chiroptères.

En perturbant le cycle naturel de la lumière et de l'obscurité, la pollution lumineuse impacte significativement la biologie des animaux, ainsi que leurs comportements migratoires, la définition de leurs zones de repos, leurs activités de compétition inter-espèces, leurs relations proies-prédateurs, et tout leur comportement social de manière générale. Elle altère également la physiologie des espèces animales, notamment chez les insectes. Les effets directs et indirects de la pollution lumineuse peuvent entraîner des conséquences telles que l'attraction ou la répulsion par rapport à la source lumineuse, des problèmes physiologiques tels que des maladies ou un affaiblissement, ainsi que des perturbations comportementales (Le Tallec, 2018). La présence de lumière artificielle peut également causer divers déséquilibres au niveau des écosystèmes entiers. En effet, les scientifiques qui se sont penchés sur cette problématique, lient les phénomènes de disparition des habitats à leur fragmentation. (Laforge et al. 2018 ; Sordello, et al. 2021). Ainsi, la pollution lumineuse est également associée à la fragmentation des habitats, car certains animaux ne peuvent pas franchir les structures éclairées. (Azam et al. 2018 ; Pauwels et al. 2019).

Pour répondre aux problèmes engendrés par la pollution lumineuse, les scientifiques et les écologues ont mis en place le concept de trame noire. Il s'agit d'un réseau formé de corridors écologiques caractérisé par une certaine obscurité. L'objectif des trames noires est de protéger la biodiversité nocturne de la pollution lumineuse. (Sordello et al. 2018). Plusieurs approches ont été expérimentées pour réaliser un tel réseau. La démarche la plus courante, permettant d'aborder la question avec une méthode pratique, est l'identification des zones de conflit entre la trame verte et bleue (TVB) et la lumière artificielle. (Sordello 2017).

II. Chiroptères, les premiers impactés par la lumière artificielle

Les chiroptères figurent parmi les groupes les plus étudiés en ce qui concerne les effets de la pollution lumineuse sur la faune. L'éclairage public exerce une influence significative sur l'activité, la

répartition et la dynamique des différentes espèces de chauves-souris, ainsi que sur leurs interactions (Azam et al. 2014, Vernet 2014). En effet, les chiroptères évitent les zones éclairées pour réduire leur vulnérabilité face aux prédateurs qui bénéficient d'une meilleure vision. En général, les chauves-souris sont sensiblement impactées par la lumière artificielle nocturne, même à faible intensité. Certaines espèces ajustent leur activité en fonction du cycle lunaire, particulièrement celles se nourrissant près des plans d'eau ou des forêts denses. Des études ont démontré que l'éclairage des lampadaires à proximité d'un gîte peut perturber le rythme biologique des espèces et retarder la sortie des individus (CEREMA 2016). Cependant, certaines espèces peuvent être attirées par la lumière pour se nourrir des insectes qui se concentrent autour des éclairages (CEREMA 2019).

Ainsi, les observations et des études ont révélé que lors de leurs activités de chasse, les espèces qualifiées de "glaneuses" (vol lent et papillonnant), telles que les murins (*Myotis* sp.) et les rhinolophes (*Rhinolophus* sp.), évitent la lumière, tandis que les espèces de "haut vol" (vol rapide et direct), comme les pipistrelles (*Pipistrellus* sp.), les sérotines (*Eptesicus* sp.) et les noctules (*Nyctalus* sp.), sont moins sensibles à la lumière artificielle (Arthur & Lemaire, 2021). En conséquence, la lumière peut engendrer une compétition pour l'espace et l'accès à la nourriture, conduisant dans certains cas à une homogénéisation des communautés et à une perte des fonctionnalités des écosystèmes (Hölker et al. 2010).

En ce qui concerne les espèces réputées pour être tolérantes à la lumière comme la Noctule commune (*Nyctalus noctula*), une étude menée sur la métropole de Berlin met en avant la nécessité de créer des trames noires pour les déplacements des individus. En effet, lors de la recherche de nourriture, l'espèce peut s'approcher de zones lumineuses où se concentrent les insectes si elles sont à proximité de milieux aquatiques, loin des routes, ou dans des zones où le taux de recouvrement de la végétation atteint environ 80 %. Alors que lors de leurs déplacements, les individus ne sont pas en recherche de nourriture donc fuient la lumière, d'où l'importance de préserver des corridors sombres. (Voigt et al. 2019).

La lumière artificielle peut également entraîner des répercussions sur la survie des individus en rompant la synchronisation entre le pic de ressources alimentaires à la nuit tombée et la sortie de gîte pour se nourrir. Cela contraint les chiroptères à chasser sur une période plus restreinte. Un éclairage excessif à l'entrée du gîte peut même entraîner l'abandon de celui-ci, comme en témoigne l'observation d'une maternité de 1200 femelles de Murin à oreilles échancrées ayant été abandonnée après l'installation d'un éclairage à l'entrée de celle-ci (Boldogh et al. 2007, Arthur & Lemaire, 2021).

En outre, l'éclairage artificiel perturbe les interactions proies/prédateurs, puisque certaines espèces de chauves-souris luminotorelantes tirent avantage de la concentration d'insectes autour des sources lumineuses au détriment des espèces qui évitent la lumière. En plus de cette disparité, l'expansion des éclairages publics perturbent le cycle de certains insectes comme les lépidoptères nocturnes et freine leur reproduction ce qui réduit leur nombre. Cela représente également une menace pour certaines espèces de chiroptères dont ils constituent l'alimentation principale. Par exemple, cette perturbation pourrait jouer un rôle décisif pour la survie des juvéniles du Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), étant donné que leur survie dépend de l'abondance d'insectes dans un rayon d'un kilomètre autour de leur gîte de naissance (CEREMA 2019).

Depuis plusieurs années, une diminution significative des populations de chiroptères est constatée. Parmi les 35 espèces présentes en France métropolitaine, 16 figurent sur la Liste rouge des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Les autres espèces font l'objet d'une préoccupation mineure, ou les données à leur sujet sont insuffisantes. Il est important de noter que toutes ces espèces sont protégées par la loi :

- Au niveau national, par le Code de l'Environnement depuis 1976 (article L.411-1);
- Au niveau international, par la Convention de Berne (1985), par la Convention de Bonn (ratification de la France en 1989) et par l'Accord EUROBATS (1991) ;
- Par la Directive Européenne Habitats-Faune-Flore (CEE n°92/43, Annexes II et IV) ;

Bien que la législation vise à protéger les individus et leurs habitats, on constate encore de nombreuses sources de pression sur les chauves-souris en France, parmi lesquelles la pollution lumineuse occupe une grande place. (Plan National d'Actions Chiroptères)

III. Retour à la pénombre ; une réflexion sur l'éclairage

Il est impératif d'identifier des voies de passage et des zones de réservoirs nocturnes pour tous les habitats (zones boisées, milieux ouverts, zones humides, milieux aquatiques, zones littorales) appelés sous-trames dans la politique de la trame verte et bleue (TVB). L'article R. 371-27 du Code de l'environnement exige que la TVB soit subdivisée en plusieurs sous-trames, qui sont des sous-réseaux écologiques composés pour chaque type de milieux, de réservoirs et de corridors. Cette approche vise à garantir la fonctionnalité écologique de la faune et de la flore en prenant en compte différentes exigences nécessaires au bon développement de la biodiversité. En conséquence, il est nécessaire d'identifier une nouvelle trame "noire" constituée de continuités nocturnes pour ces différentes sous-trames afin de couvrir l'ensemble des habitats affectés par la pollution lumineuse (Sordello 2017).

Par la suite, plusieurs solutions techniques peuvent être mises en place pour contribuer à la formation d'une trame noire. Il est possible de changer l'orientation de la lumière en réduisant sa diffusion dans le ciel et hors des zones que l'on souhaite éclairer : majoritairement le sol, et plus précisément une chaussée ou un trottoir (Angerand, 2021). Cela permet d'éviter l'effet de halo lumineux au-dessus des zones urbaines qui perturbe de nombreuses espèces nocturnes volatiles. Il est également essentiel d'adapter le type de lumière diffusée. Pour minimiser les effets négatifs sur la biodiversité, il est recommandé de prioriser l'utilisation de lampes qui émettent dans un spectre de lumière étroit contrairement aux LED largement utilisées dans un souci d'économie d'énergie et qui ont un spectre très large. De plus, les lumières orange semblent être moins nuisibles pour la biodiversité nocturne et pour l'espèce humaine, contrairement aux lumières bleues qui sont les plus impactantes, selon les connaissances actuelles (Musters et al. 2009, Sordello, 2018). Enfin, il est pertinent de questionner la temporalité de l'éclairage de l'espace public. Cette dernière n'est soumise à aucune réglementation mais les collectivités mettent en place de plus en plus d'initiatives pour réduire le temps d'éclairage. Plusieurs solutions sont mises en place, notamment des systèmes d'éclairage "intelligents" qui s'allument et s'éteignent en fonction de l'utilisation grâce à des détecteurs de présence (Lapostolle, D., & Challéat, S. 2019). Ces solutions ponctuelles sont

généralement incluses dans une réflexion plus globale des collectivités désireuses d'apporter une réponse aux défis environnementaux tout en réduisant leur facture énergétique.

IV. Métropoles, lieux de passages à aménager

Chaque territoire est sujet aux problématiques liées à la pollution lumineuse, les zones urbaines densément peuplées semblent contenir une densité plus importante de lumière artificielle que dans les zones rurales. Ces dernières ne concentrent pas autant d'éclairages nocturnes que dans les villes mais l'impact de la pollution lumineuse qu'ils émettent y est tout autant nuisible pour la biodiversité.

Bien que la faune nocturne ait plus de facilité à se déplacer à la campagne qui propose de larges espaces sombres la nuit, les grandes zones urbaines comme les métropoles sont aussi des lieux de passages et de résidences de nombreux animaux comme les chiroptères qui aiment trouver refuge dans les anfractuosités des aménagements urbains. Il est ainsi essentiel d'amener, dans le cadre de la réflexion actuelle des villes sur la continuité écologique, la question des trames noires qui sont essentielles aux activités et à la survie des animaux nocturnes.

De cette constatation, une réflexion approfondie autour de la trame noire, implantée aux abords et dans une métropole, s'impose. Ainsi, il s'est avéré pertinent d'axer dans un premier temps, l'étude sur une commune d'une agglomération. Cette première approche des continuités écologiques sombres pourrait offrir un premier réseau pour les déplacements faunistiques à proximité de cette grande aire urbaine et pourrait également servir de base à un réseau de trames noires sur tout le territoire de la métropole.

Dans le cadre de cette étude, Chambray-lès-Tours, située dans l'agglomération de Tours Métropole, se présente comme une commune pertinente par son territoire qui opère une transition entre une zone très urbanisée et le début d'une zone plus rurale. Cette dernière est notamment amorcée par la présence de bois ainsi que par des zones agricoles, implantés dans la périphérie de la commune. Le paysage de Chambray-lès-Tours est également marqué par la traversée de grands axes routiers et par la présence de quartiers enclavés dans la campagne, engendrant les nuisances associées à l'éclairage nocturne. Ainsi cette variété de contextes territoriaux permettra également d'appréhender les solutions et les aménagements spécifiques nécessaires pour parvenir à la création d'un réseau de corridors sombres, spécifiquement adaptés aux déplacements faunistiques, en mettant l'accent sur les besoins particuliers des chiroptères.

Ainsi, on pourra se demander au cours de cette étude comment situer et adapter les aménagements urbains aux déplacements des chiroptères à Chambray-lès-Tours ?

En analysant la portée et l'impact de l'éclairage nocturne sur ces corridors écologiques, cette étude aspire à contribuer à la mise en place de mesures durables et équilibrées visant à minimiser les perturbations induites par la pollution lumineuse tout en favorisant la préservation de la biodiversité, et surtout des populations de chauves-souris dans cette zone de la métropole tourangelle.

Partie 1 : Matériel et Méthode

I. Le socle écologique de Chambray-lès-Tours

Afin de mettre en place les aménagements nécessaires pour établir une trame noire, il est primordial d'identifier spatialement la biodiversité déjà présente, déterminer les corridors déjà existants et opérants sur le territoire, et comprendre les déplacements des espèces cibles. Ces données rassemblées permettent d'envisager et de visualiser des tendances de mobilités, d'habitats et de zones de chasse des espèces cibles, mais aussi les obstacles physiques contraignant leurs comportements et émettant une pression sur leur occupation de l'espace.

A. Trames verte et bleue, les corridors déjà existants

Pour identifier les zones végétalisées de Chambray-lès-Tours, plusieurs outils ont été utilisés. Tout d'abord, on peut observer l'occupation du sol de la ville grâce à la classification CORINE Land Cover (Figure 1) qui nous communique des informations sur l'état de surface général de la commune.

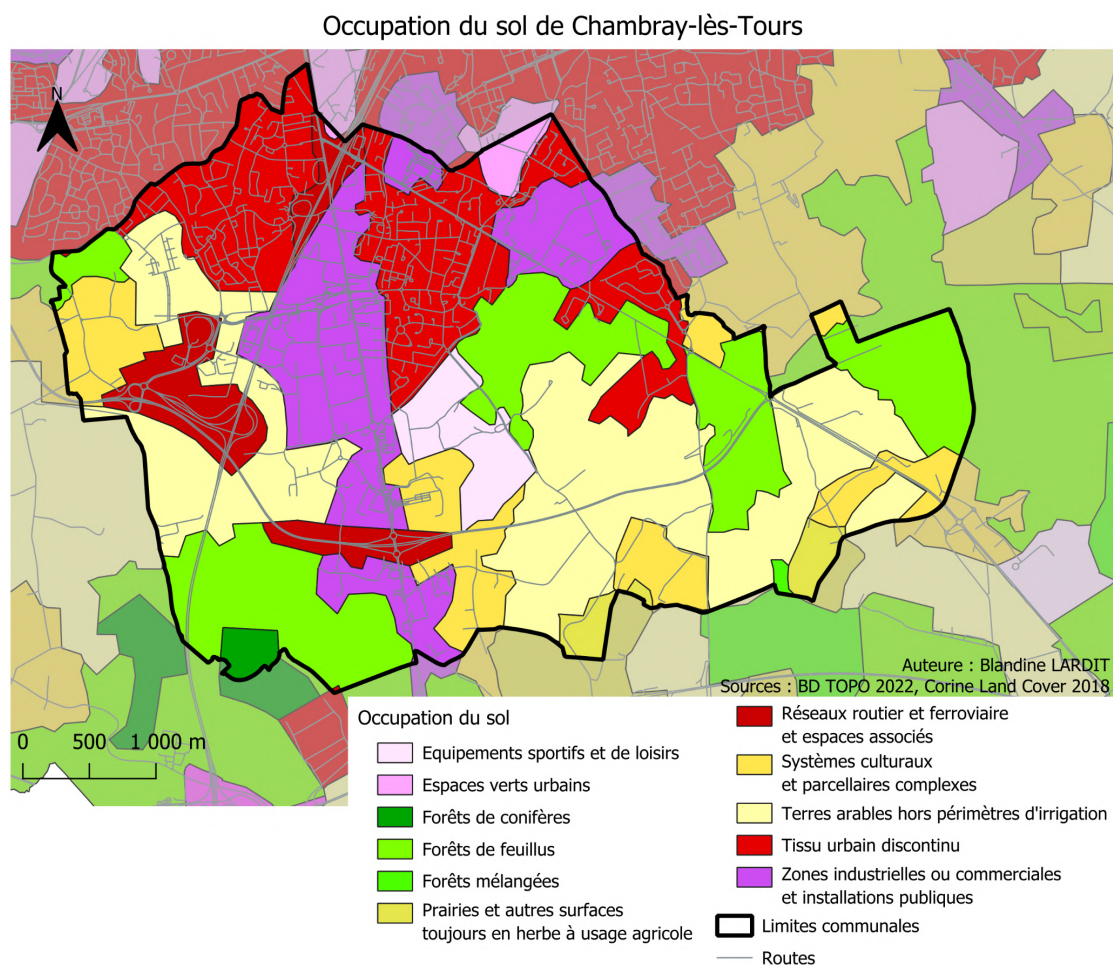


Figure 1 : Carte de l'occupation du sol de la ville de Chambray-lès-Tours, LARDIT 2023

En plus de la classification CORINE Land Cover, l'occupation du sol est également détaillée dans la base de données BD TOPO 2018. Grâce à celle-ci, il est possible de visualiser concrètement les espaces et ainsi délimiter les bâtiments, les routes, les cours d'eau, les zones humides, les parcs et les forêts. On peut construire une carte donnant une perspective réelle du territoire et de son agencement (Figure 2).

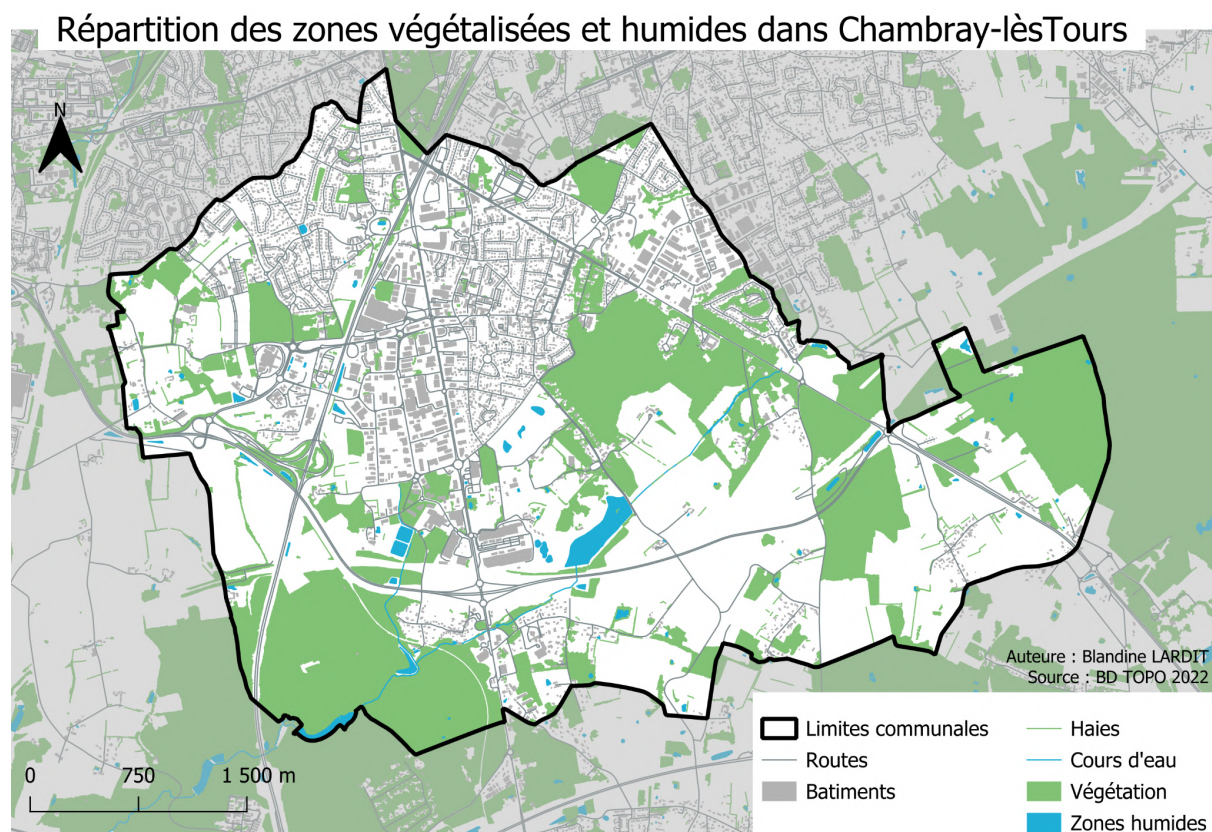


Figure 2 : Visualisation de la répartition des zones végétalisées et humides dans Chambray-lès-Tours, LARDIT 2023

En plus des bases de données cartographiques, il est aussi nécessaire de recueillir les informations contenues dans les différents documents d'urbanisme comme le Plan Local d'Urbanisme (PLU). Ainsi on retrouve dans le PLU les orientations prises par la commune pour son territoire, dont les directives autour de la trame verte et bleue que Chambray-lès-Tours souhaite développer (Figure 3). Ce fichier donne une idée générale de l'état actuel de la situation ce qui est pertinent pour mieux comprendre les subtilités qui n'ont pas pu être encore approchées par la cartographie de l'état de surface. De plus, un inventaire de biodiversité a été commandé par la ville à des bureaux d'étude dans le cadre du renouvellement des documents d'urbanisme de la commune. Il permet également de retracer avec précision les zones principales de végétations et les habitats écologiques présents au sein de Chambray-lès-Tours.

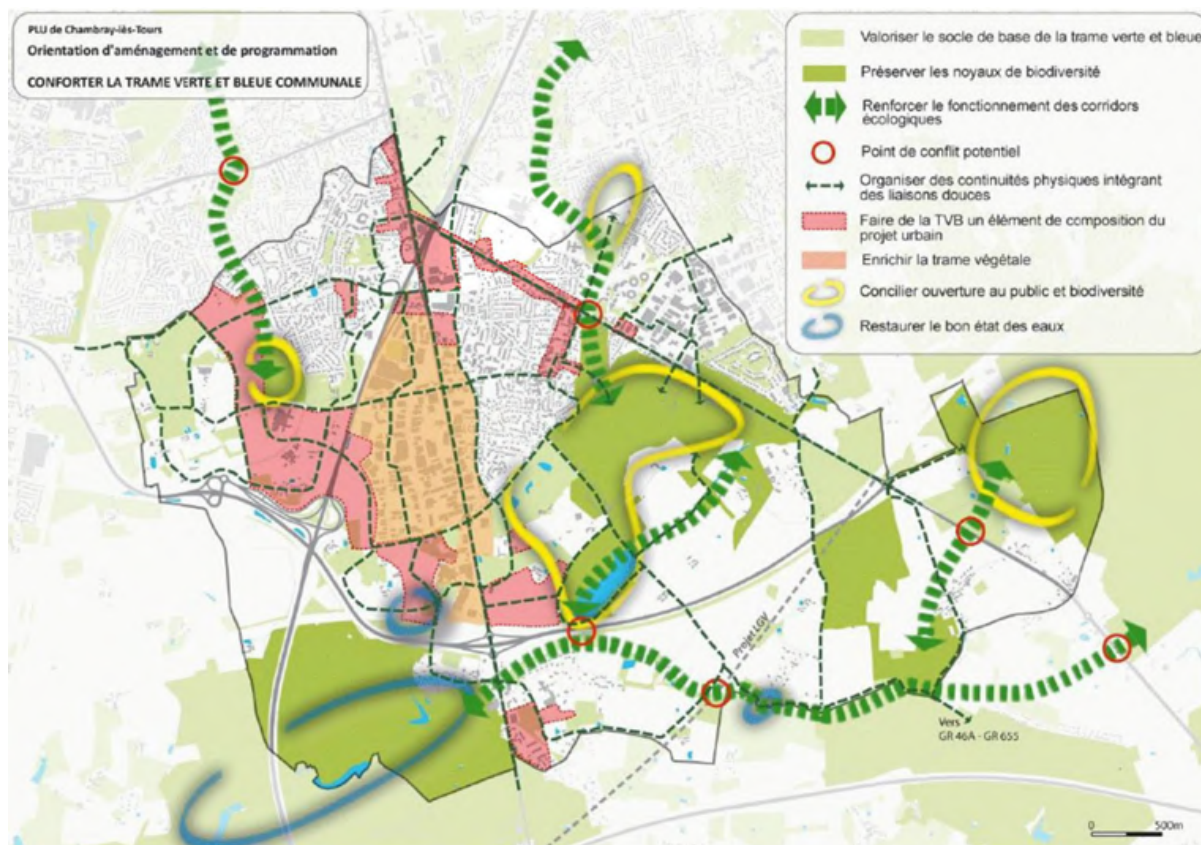


Figure 3 : Orientation d'aménagement et de programmation – Confronter la trame verte et bleue communale, PLU de Chambray-lès-Tours 2022

L'observation et l'analyse de ces éléments cartographiques et des éléments complémentaires recueillis permettent de comprendre les enjeux du territoire, notamment les points de conflits aux déplacements faunistiques. Les espaces de végétation, que ce soient les parcs ou les forêts, sont des espaces propices aux gîtes et aux déplacements de la faune. En analysant la répartition des zones végétalisées et humides dans Chambray-lès-Tours, trois grands types de milieux sont identifiés : les boisements, les zones humides, et les corridors ou zones de connexion. Parmi eux, plusieurs zones importantes se démarquent dans le paysage comme le ruisseau du Saint-Laurent, le bois des Hâtes à l'Est, le bois de Chambray ou encore le bois du Saint-Laurent au Sud-Ouest. L'étude du PLU de Chambray-lès-Tours corrobore ces observations puisqu'il détaille les secteurs permettant le développement et l'épanouissement de la biodiversité locale. Il en retient une orientation d'aménagement et de programmation en vue du développement de la trame verte et bleue au sein de la commune, et dans la continuité des territoires voisins.

Ces éléments vont permettre le développement d'une cartographie adaptée à la problématique des aménagements pour la création d'une trame noire pour les déplacements nocturnes des chiroptères.

B. Présence des chauves-souris sur le territoire communal

Pour identifier les différentes espèces occupant le territoire communal, nous pouvons nous baser sur une étude de différentes bases de données géographiques, comme celles de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) qui a compilé des recherches sur les espèces de chiroptères de la région.

Cependant ces études sont de niveau régional et manquent de précision à l'échelle de la commune. Pour plus de précision, il est alors possible d'étudier l'inventaire de biodiversité de Chambray-lès-Tours qui répertorie et retranscrit les résultats de différents relevés acoustiques (annexe 1) effectués pour identifier la présence de chiroptères. Ces points d'écoute ont permis de géolocaliser les différentes espèces et de qualifier leurs activités dans chaque secteur (annexe 2). Cela a également permis de découvrir de nouvelles zones servant de gîtes à des colonies de chauves-souris, indiquées par des particuliers, suite à un appel à témoin lors de la rédaction du document (photographies des espèces de chauves-souris présentent en annexe 3).

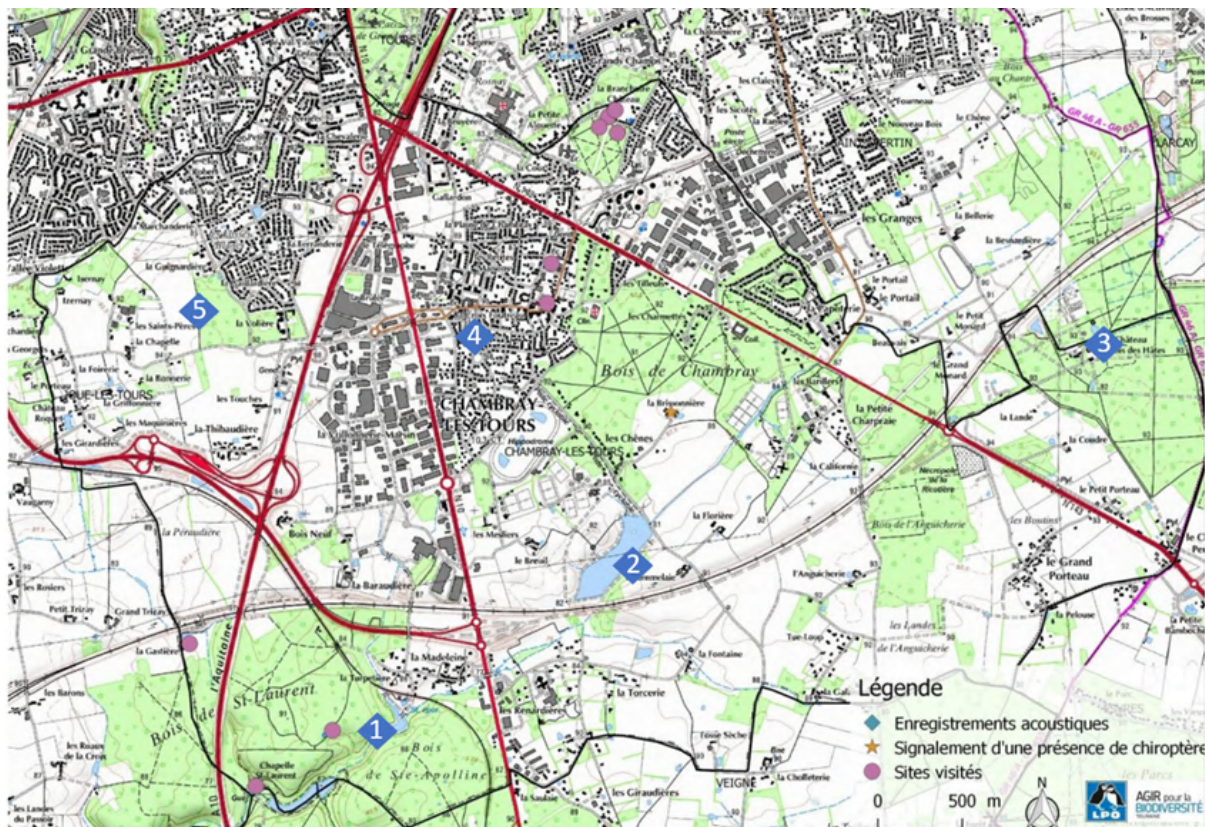


Figure 4 : Localisation des sites pour lesquels des inventaires (prospection acoustique) ont été réalisés, Biotope 2018

Grâce à ces informations, on pourra déterminer les principaux couloirs de déplacements et corridors à mettre en corrélation avec la pollution lumineuse, un facteur important de fragmentation de l'habitat des chauves-souris.

II. Situer et identifier la pollution lumineuse

Pour établir le tracé d'une trame noire, il est nécessaire d'obtenir des données sur la pollution lumineuse. Plusieurs choses sont nécessaires à analyser, tout d'abord la pollution lumineuse diffuse.

Celle-ci est observable par satellite, notamment grâce aux données récoltées par la NASA, et retranscrites sur plusieurs sites web mettant en place des cartes interactives.



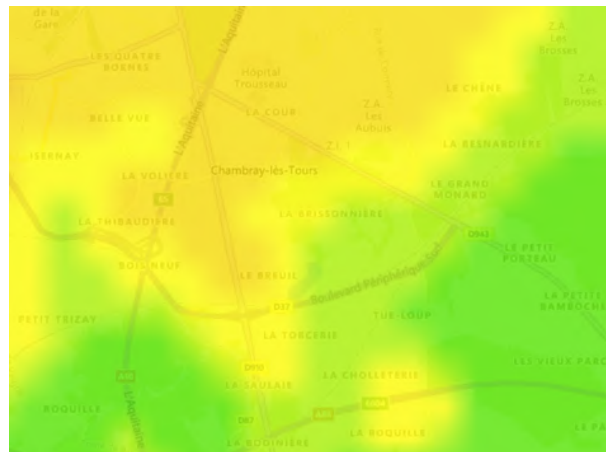
Source : <https://blue-marble.de/nightlights/>



Source : <https://www.nightearth.com/>



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



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

Figure 5 : Récapitulatif des cartes éditer grâce aux données satellitaires de la NASA traduisant la pollution lumineuse à Tours métropole et plus particulièrement à Chambray-lès-Tours, Sites consultés en décembre 2023

Ces cartes ne sont cependant pas toujours suffisamment précises à l'échelle communale mais donnent tout de même une idée de l'intensité de la pollution lumineuse dans le secteur et le niveau de visibilité moyen du ciel étoilé. Pour pallier ces imprécisions, il est pertinent d'analyser le parc d'éclairage public de Chambray-lès-Tours. Ces données cartographiques n'étant pas disponibles, il est possible d'obtenir une estimation de l'emplacement des luminaires. Pour cela, les parcs d'éclairages d'autres villes semblables à Chambray-lès-Tours ont été analysés. Le choix s'est porté sur des villes intégrant des métropoles similaires à celle de Tours, ayant un centre urbain encore dense et possédant dans leur territoire communal, une transition vers un territoire plus rural. En établissant des tendances et en réalisant des relevés des luminaires sur le terrain, au sein des zones les plus sensibles, il est possible d'obtenir une cartographie des éclairages présents, la plus proche de la réalité.

Grâce aux données cartographiques d'autres métropoles, récoltées sur Géoportail, géo service, data Gouv, grâce aussi à l'observation des données cartographique sur l'éclairage public misent à disposition par les métropoles de Bordeaux, Rennes, Lille, Nantes, Toulouse, Metz, ainsi que Fondettes, seule ville de la métropole tourangelle dont la cartographie des luminaires est disponible, il est possible d'estimer les espaces entre chaque lampadaire pour la ville de Chambray-lès-Tours.

	Bordeaux	Rennes	Lille	Nantes	Metz	Toulouse	Fondettes
Route à 1 chaussée	20 m	30 m	30 m	25 m	30 m	20 m	30 m
Route à 2 chaussées	35 m	30 m	40 m	35 m	35m	45 m	30 m
Rond-point	10 m	20 m	25 m	20 m	15 m	10 m	15 m
Bretelle	50m	75 m	/	/	/	100 m	50 m
Type autoroutier	/	/	/	/	/	/	/
Route empierrée	/	/	/	/	/	/	/
Chemin	/	/	/	/	/	/	/
Sentier	/	/	/	/	/	/	/

Tableau 1: Comparatif des distances entre chaque lampadaire par type de route et par ville, LARDIT 2023

III. Anticiper la cohérence des aménagements

Le choix des aménagements pour assurer la trame noire ne doit pas se faire au hasard. Ceux-ci doivent pouvoir répondre aux besoins des chiroptères qui sont les premiers destinataires de ces corridors sombres. Le bon fonctionnement de la trame noire dépend principalement de leur cohérence. Ainsi, pour choisir au mieux les aménagements à établir sur le territoire communal, il est possible de faire un état des lieux des différents équipements et agencements mis en place par des collectivités, communes ou structures ayant déjà établi un réseau de corridors sombres sur leur territoire. Ces exemples permettent d'approcher la diversité de solutions proposées et les différentes situations qui leur sont associées. Certains offrent également des retours d'expériences sur les aménagements choisis ce qui permet de se projeter davantage dans le développement de solutions adaptées à Chambray-lès-Tours. Le rapport de l'Office Français de la Biodiversité sur la trame noire présente une dizaine d'exemples de mise en place de corridors sombres en France dont une dizaine est spécialement dédiée aux déplacements des chiroptères. Chaque exemple est étudié et les aménagements utilisés, qui sont en cohérence avec les problématiques ou les situations retrouvées à Chambray-lès-Tours, sont retenus. En plus de ces applications ont été étudiées des notices de préconisation, méthodologiques et bibliographiques rédigées par des chercheurs et des organismes publics ou privés sur les chiroptères, leurs déplacements, la fragmentation de leur habitat et les solutions pour y remédier. Ces rapports, comme celui du CEREMA sur les chiroptères et les infrastructures routières, permettent de connaître les avancées de la recherche et les préconisations à suivre dans la mise en place d'aménagements adaptés.

Partie 2 : Résultats

I. Des corridors écologiques adaptés aux chiroptères

Les cartes d'occupation des sols permettent déjà d'établir que le Nord de la commune est occupé par des zones plutôt urbaines, comme l'indique la classification CORINE land Cover avec des zones de « Tissu urbain discontinu » ou encore « Zones industrielles et commerciales et installations publiques » contrairement au Sud qui semble plutôt tourné vers la ruralité avec des zones comme « Terres arables hors périmètre d'irrigation », « Forêt de feuillus » ou encore « Prairies ou autres surfaces toujours en herbes à usages agricole ». On remarque également que Chambray-lès-Tours s'inscrit dans le paysage local car, que ce soit au Nord ou au Sud, les états de surface sont similaires et démontrent une certaine continuité d'occupation du sol.

De plus, les éléments constitutifs des continuités écologiques recueillis dans le PLU de Chambray-lès-Tours et dans les bases de données topographiques nationales permettent une première appréciation des différents corridors écologiques déjà présents, ainsi que ceux que Chambray-lès-Tours souhaiterait développer. Cela permet d'identifier une base sur laquelle articuler le reste des enjeux de la trame noire et développer des solutions adaptées aux chiroptères.

En effet, pour compléter ces corridors écologiques, il est opportun d'analyser les zones de gîtes et de chasse des chiroptères. L'inventaire de la biodiversité de Chambray-lès-Tours permet de situer les zones où la présence de chauves-souris est avérée, soit par observation, soit par enregistrement acoustique de leurs cris. On retrouve ainsi une grande partie des populations de chiroptères dans le bois de la Hâte. Les données variées des relevés permettent également d'observer des tendances de déplacements et ainsi déduire les corridors potentiels de déplacement des chauves-souris.

Trames vertes et bleues relatives aux déplacements des chiroptères

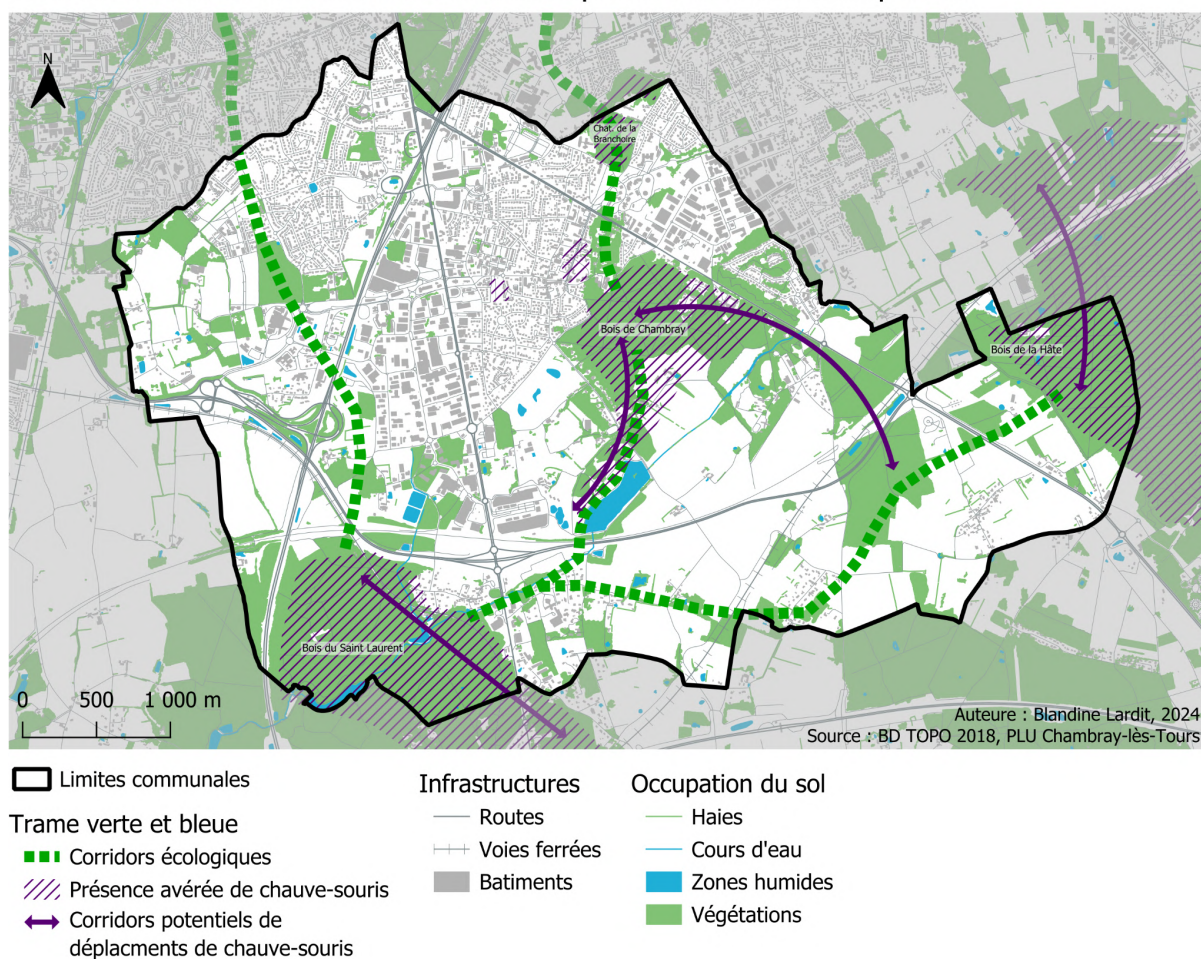


Figure 6 : Carte des trames vertes et bleues relatives aux déplacements des chiroptères, LARDIT 2023

Ainsi, on remarque que le sud de Chambray-lès-Tours abrite plusieurs continuums écologiques malgré les axes routiers qui fragmentent le territoire. On retrouve également deux corridors qui traversent la commune du Nord au Sud, allant de parcs en forêts en passant par les champs, mais aussi des zones plus urbanisées ainsi qu'une autoroute pour l'un. Ces couloirs demeurent moins propices aux déplacements faunistiques que ceux situés au Sud dans un secteur plus rural. En ce qui concerne les chiroptères, leur présence est majoritairement avérée dans le Sud de la commune bien que des indices de leur passage aient été relevés dans le parc du château de la Branchoire, au Nord. De plus, il est intéressant de relever la présence de populations en pleine ville, dans le cimetière communal la croix foutreau et dans le toit de bâti ancien comme celui de l'école Jean Moulin. De plus, les déplacements des chauves-souris semblent restreints à l'intérieur de larges zones végétalisées où les colonies ont déjà élu domicile et à l'intérieur de corridors écologiques déjà bien implantés dans le paysage local.

II. Fragmentation par la lumière

Grâce aux différentes cartes du ciel nocturne récoltées, on constate la présence de pollution lumineuse diffuse, formant un halo au-dessus de la métropole tourangelle et de Chambray-lès-Tours.

En plus de ce constat, une cartographie des éclairages publics de Chambray-lès-Tours a pu être établie grâce aux tendances observées. Ainsi, après analyses, il a été conclu que dans le centre-ville et les quartiers résidentiels, la distance entre les lampadaires est en moyenne de 30 mètres et ceux-ci sont situés d'un seul côté de la chaussée. Dans les grandes artères de circulations de la ville, les lampadaires sont situés en moyenne à une distance de 50 mètres et comme il y a généralement deux chaussées pour ce type d'axe de circulation, on retrouve un lampadaire de chaque côté de la rue, soit un par chaussée. Pour les ronds-points, la distance entre les lampadaires est plus faible puisqu'elle est en moyenne de 20 mètres et enfin, on retrouve quelques lampadaires assez espacés avec une distance moyenne de 100 mètres, aux entrées des bretelles d'autoroute. Ces dernières sont dépourvues d'éclairage public bien que le flux important de véhicules ayant leurs phares allumés la nuit contribue également à la pollution lumineuse. Cette dernière cause de fragmentation lumineuse n'a cependant pas été analysée dans cette étude. Enfin, les chemins de terre, sentiers, et routes empierrées ne sont pas pourvus d'éclairage public.

Répartition des éclairages publics et leurs portées dans Chambray-lès-Tours

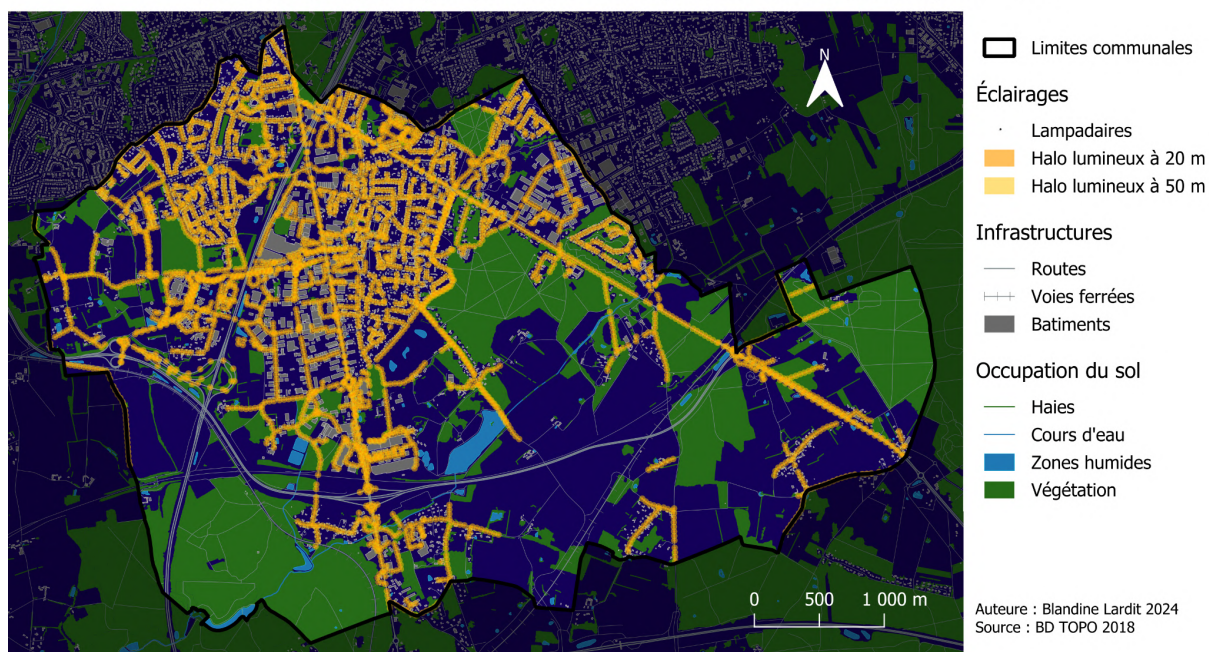


Figure 7 : Carte de la répartition des éclairages publics et leurs portées dans Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024

Ainsi, la concentration d'éclairage prédomine principalement dans la partie Nord-Ouest de la commune, où se trouvent le centre-ville, la plupart des quartiers résidentiels et les zones commerciales. A contrario, on observe une réduction des éclairages publics dans les zones plus rurales. Cependant, on retrouve au Sud de la commune, proche d'une vaste zone de végétation et sur le parcours du cours d'eau du Saint Laurent, la zone résidentielle et industrielle qui constitue un secteur sensible soumis à la lumière artificielle. Le bois de Chambray et le parc du château de la Branchoire sont également entourés d'éclairages significatifs.

III. Tracé d'une trame noire adaptée

A. La double fragmentation du territoire

Avant de réaliser le tracé de la trame noire à Chambray-lès-Tours, il est nécessaire d'identifier les différents points de conflits entraînant la fragmentation du territoire. Dans un premier temps sont identifiés les points de conflits avec la trame verte et bleue, dus à une ou plusieurs fragmentations physiques comme des axes routiers ou des zones urbanisées imperméables aux déplacements faunistiques. Dans un second temps sont examinés les points de conflits dus aux fragmentations lumineuses provoquées par l'éclairage nocturne. L'association de ces deux types de fragmentations permet d'identifier les secteurs les plus sensibles et qui sont soumis à de fortes pressions extérieures entravant les déplacements nocturnes des animaux, et notamment des chiroptères.

Identification des zones de conflits dans la démarche de création de trames noires à Chambray-lès-Tours

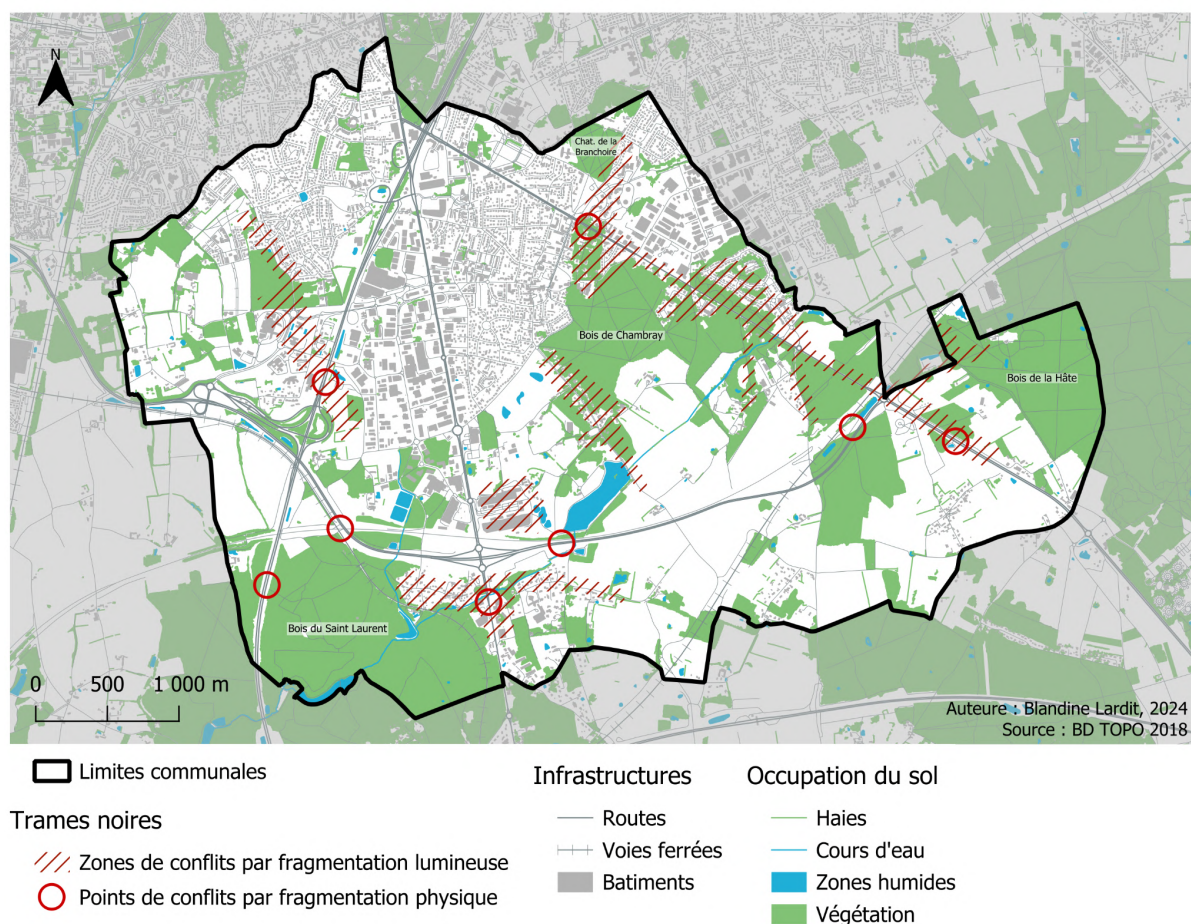


Figure 8 : Identification des zones de conflits dans la démarche de création de trames noires à Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024

Dans notre étude, plusieurs zones sont concernées par la combinaison des deux types de fragmentations. Tout d'abord, le quartier au Sud de Chambray-lès-Tours, situé aux abords du bois du Saint Laurent, est un pôle important émetteur de pollution lumineuse alors qu'il est traversé par un

corridor majeur pour la faune communale. C'est également un espace fragmenté physiquement, notamment à cause de la route départementale qui le traverse.

Au nord, la continuité écologique faisant le lien entre le parc du château de la Branchoire et le bois de Chambray est également contraint par une forte pollution lumineuse émanant des quartiers résidentiels alentours mais aussi de la départementale qui traverse ce continuum et qui est aussi un facteur de fragmentation physique. Cette voie entrave également un second corridor situé au Sud-Est de Chambray-lès-Tours bien qu'il y ait moins de pollution lumineuse à cet endroit puisque le secteur est moins urbanisé.

La quatrième zone sujette aux deux types de fragmentations se situe à l'ouest, au niveau de l'autoroute. Cet axe routier est imperméable aux déplacements faunistiques et difficilement franchissable pour les chiroptères se déplaçant grâce aux ultrasons. Les autoroutes agissent comme une zone blanche qui ne réfléchissent pas leurs ultrasons, ce qui rend difficile leur repérage dans l'espace (Claireau et al, 2019). De plus, le couloir traverse un quartier résidentiel qui est également une source de lumière artificielle. Ce continuum écologique étant utilisé pour la migration par certaines espèces de chauves-souris, il semble important de préserver ce corridor écologique.

Enfin, certains secteurs ne présentent pas de fragmentation physique importante mais sont sujets à une pollution lumineuse conséquente alors qu'ils se situent sur le passage de corridors écologiques ou de zones « réservoirs ». C'est notamment le cas au centre de la commune, le long du bois de Chambray, le long de la départementale ainsi qu'à proximité de l'étang de l'Hommelaie. Ces lieux étant fréquentés voire même habités par plusieurs espèces de chiroptères, il semble important de mettre en évidence la pollution lumineuse, engendrée par l'éclairage public, qu'ils subissent.

B. Le retour à la nuit pour des corridors sombres

Les corridors sombres reprennent majoritairement le tracé des corridors écologiques déjà existants. Mais pour que ces couloirs deviennent de véritables trames noires, il est nécessaire d'assombrir les secteurs émetteurs de pollution lumineuse que ces corridors traversent. Pour sélectionner les secteurs à assombrir, la question de la proportion ou de la largeur du corridor jusqu'à laquelle il est nécessaire de réduire la lumière artificielle, est pertinente. Ainsi, les zones à assombrir ont été identifiées par quartier ou groupement cohérent de bâtiments plutôt que de respecter un périmètre fixe autour des corridors. Les chiroptères n'emprunteront pas spécifiquement et précisément le tracé du corridor mis en place par l'homme. La création d'un espace sombre assez important, sans pression lumineuse, leur accorde la liberté de choisir leur trajectoire au sein de ce couloir de déplacements.

En plus des axes de déplacements, il semble aussi essentiel de réduire la présence de lumière artificielle aux abords des zones dites « réservoirs » pour les rendre plus clémentes et adaptées à l'accueil des colonies de chiroptères.

Représentation de la trame noire à Chambray-lès-Tours

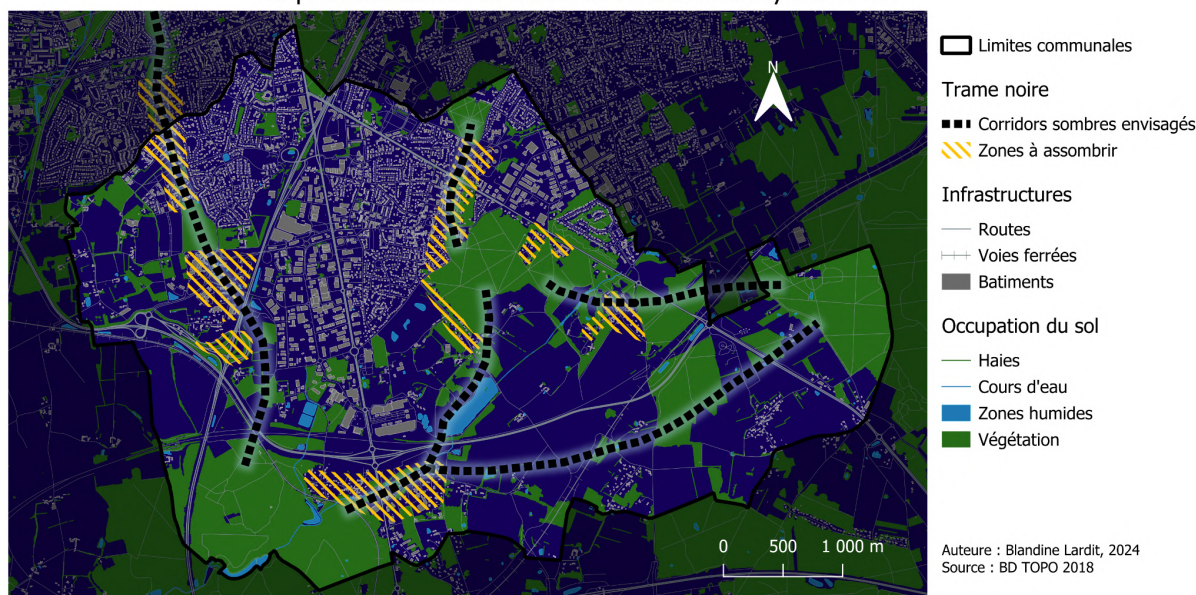


Figure 9 : Représentation de la trame noire à Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024

Au Sud de la commune, le corridor sombre longeant la route départementale reprend un corridor écologique existant, il n'est pas contraint par de grands pôles de pollution lumineuse hormis à l'Est. En effet, le quartier résidentiel et commercial au Sud de la commune, en périphérie du Bois de Saint-Laurent, est une source de pollution lumineuse qu'il serait primordial de diminuer. Idéalement, il serait même préférable d'éteindre complètement l'éclairage du crépuscule à l'aube, période d'activité des chiroptères. Ce secteur est traversé par plusieurs corridors sombres dont celui cité plus haut ainsi que celui qui passe par l'étang l'Hommelaie et rejoignant le bois de Chambray. Ce dernier est une zone de gîtes et d'activités importantes pour la faune nocturne, mais il subit de nombreuses pressions de la pollution lumineuse émise par l'éclairage public sur tout le pourtour de sa zone. Il est donc important de réduire la lumière artificielle autour du bois, et notamment des quartiers résidentiels traversés par les corridors rejoignant, au Nord, le parc du château de la Branchoire, et au Sud-Est, le bois de la Hâte. Ce dernier est un secteur d'accueil de nombreuses espèces et colonies de chiroptères pour la commune. Enfin, le corridor sombre à l'Ouest de Chambray-lès-Tours traverse également une alternance de zones végétalisées soumis à une forte pression de lumières artificielles et de zones urbanisées pourvues d'éclairages publics. Ces quartiers sont, eux aussi, à assombrir, tout comme la bretelle d'autoroute qui n'est pas traversée par le corridor mais qui le surplombe, étant donc elle aussi, une forte source de pollution lumineuse allant à l'encontre de cette trame noire.

IV. Les aménagements à mettre en place

Plusieurs aménagements sont possibles pour implanter durablement la trame noire et assurer son bon fonctionnement dans le territoire communal. Ils vont dépendre du quartier traversé et de ses activités associées, de la sécurité des usagers qui rend la lumière indispensable à certains endroits, du caractère critique et de l'importance du secteur.

Les lampadaires présents à Chambray-lès-Tours répondent, pour la plupart, aux prérequis dans la lutte contre la pollution lumineuse. Il n'y a pas d'éclairage de type « boule » qui pourrait envoyer une grande partie de la lumière émise vers le ciel. Globalement, les ampoules ne dépassent pas non plus de la structure des lampadaires, permettant de diriger le faisceau lumineux vers le sol et non au-dessus de l'horizontale.

Cependant, pour concrétiser la trame noire, il est nécessaire d'apporter des changements au parc d'éclairages de Chambray-lès-Tours. Cinq solutions peuvent être proposées. Tout d'abord, l'extinction totale pure et simple de l'éclairage d'un quartier. Cette solution est privilégiée en périphérie de zones dites « réservoirs » pour préserver la tranquillité et les activités nocturnes des animaux. Ensuite, il est possible de mettre en place des luminaires à détection de mouvements, notamment au niveau de zones résidentielles où le passage de voitures et de piétons n'est ni régulier ni conséquent et ainsi ne justifie pas d'allumer de façon permanente l'éclairage. Ce type de luminaire n'est pas forcément éteint lorsqu'il n'y a pas de passage mais peut simplement agir sur l'intensité lumineuse émise. Pour les quartiers résidentiels ou les zones urbanisées avec un passage de piétons régulier ou conséquent, il est possible de mettre en place des éclairages bas à moins d'un mètre de hauteur, toujours dirigé vers le sol, permettant d'éclairer les passants sans émettre une forte pollution lumineuse.



Source : Renne Métropole



Source : luminaire.fr

Figure 10 : Exemples de luminaire bas à destination de la circulation nocturne des piétons

Pour les zones de mobilité comme les grands axes urbains ou les zones commerciales où l'accès se fait majoritairement par la voiture, il est cohérent de réduire le nombre de lampadaires en augmentant la distance entre eux et de prévoir une extinction après et avant la période d'activité. Il est également possible de supprimer les lampadaires et de les remplacer par des plots routiers rétro-réfléchissants dont le faible éclairage est « activé » lorsque les phares des voitures les éclairent. Ainsi, la réduction de la pollution lumineuse n'est pas le fruit d'une solution unique mais plutôt de plusieurs réponses adaptées aux usages et aux besoins.



Figure 11 : Exemples de routes pourvues de plots rétro-réfléchissants, Crzyal.net

Spatialisation des aménagements pour la création d'une trame noire à Chambray-lès-Tours

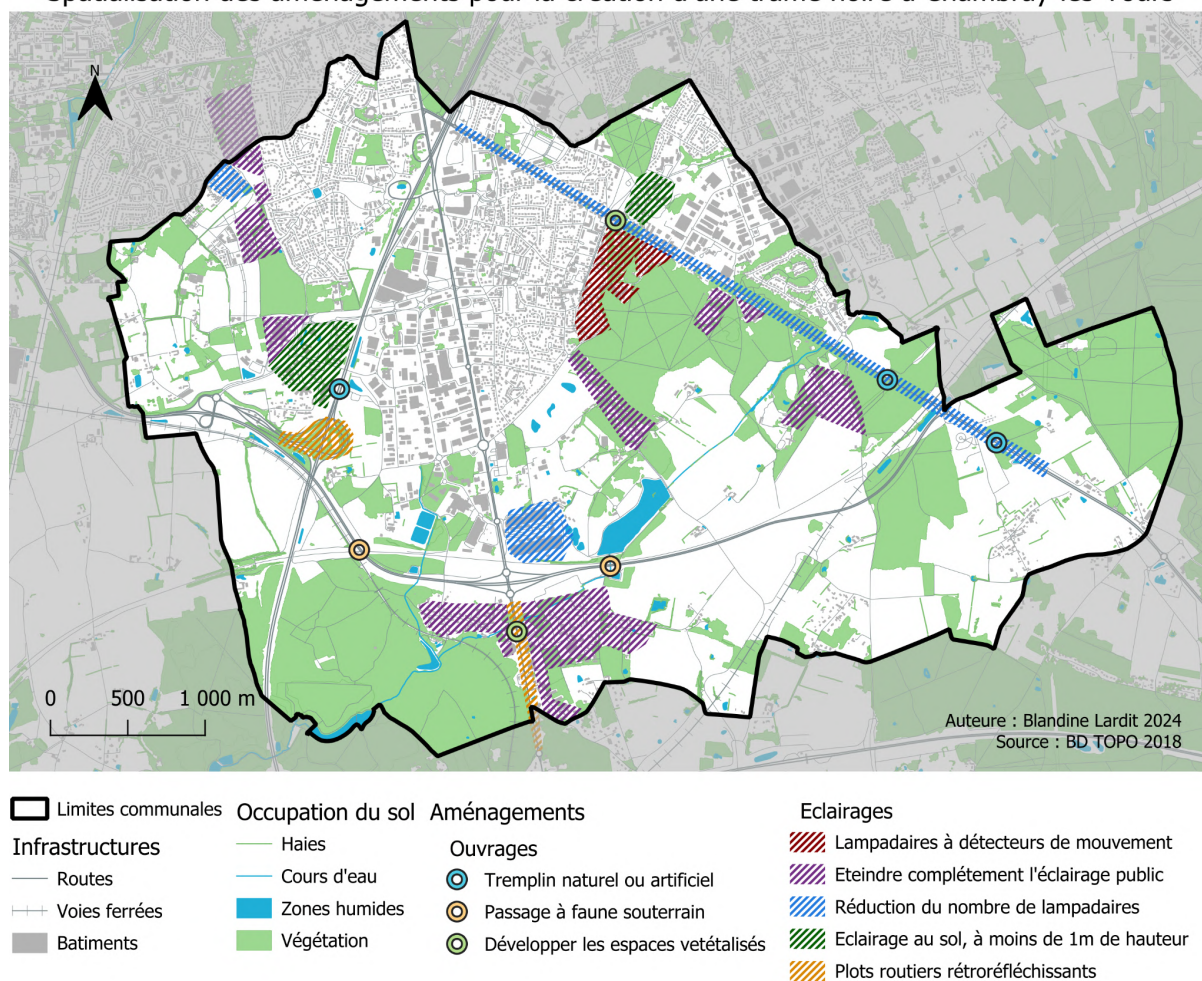


Figure 12 : Spatialisation des aménagements pour la création d'une trame noire à Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024

Enfin pour finaliser la trame noire, il faut aussi répondre aux points de conflits inhérents à la fragmentation physique du territoire. Plusieurs types d'ouvrages pourraient permettre de réduire la fragmentation et le risque mortel souvent encouru lors de la traversée de routes notamment. Tout d'abord, pour les fragmentations en milieu urbanisé, il est nécessaire de végétaliser les carrefours entre axe routier et trame verte et bleue. Cela permettrait aux chauves-souris d'avoir des points de repère pour se situer dans l'espace et se réfugier. Ensuite, sur les axes routiers surélevés, il est possible de créer des passages à faune souterrains, sous forme de petit tunnel permettant à de nombreuses espèces de traverser en toute sécurité. Enfin, pour les axes les plus larges ou ne permettant pas la mise en place de passage à faune, il est tout à fait possible d'aménager des tremplins utilisés par la suite par les chiroptères et qui leur permettront de traverser la route à une hauteur suffisante et ainsi éviter de percuter les véhicules en mouvement sur la route. Ces tremplins peuvent prendre différentes formes. Ils peuvent être sous forme végétale (haies, talus boisés) ou artificiels (murs, palissades).

Partie 3 : Discussion

I. Aller plus loin dans les aménagements

En plus des aménagements de l'éclairage public spécifiques à certains secteurs, il ne faut pas oublier la lumière diffuse formant un halo lumineux dans le ciel de Chambray-lès-Tours. C'est donc l'éclairage dans sa globalité qu'il faut repenser en conséquence, qu'il fasse partie du parc public ou qu'il soit émis par le privé. Ainsi il serait pertinent de remplacer les ampoules et autres sources de lumières à large spectre (lumière émettant dans de multiples longueurs d'ondes) par d'autres à spectre étroit (lumière émettant dans une seule longueur d'onde). Les chauves-souris sont lucifuges, elles fuient tous types de lumières du spectre visible. Cependant en réduisant le spectre des sources de lumière, cela permet de réduire les impacts issus d'autres longueurs d'ondes que celle choisie. Il est préférable d'abandonner les lampes émettant dans le bleu et le rouge qui sont les longueurs d'onde ayant le plus d'impact sur la biodiversité de manière générale. La mairie pourrait inciter les particuliers ainsi que les entreprises locales possédant des éclairages qui impactent l'extérieur, à entreprendre les mêmes changements, en inscrivant cette mesure dans le PLU par exemple.

De plus, il serait opportun d'implanter les aménagements proposés pour les corridors trame noire, à une plus large partie de la commune et de proposer leur mise en place dans tous les quartiers de la ville. Même au centre-ville de Chambray-lès-Tours, il serait pertinent de réduire le nombre de lampadaires ou de proposer des éclairages bas pour les piétons. Enfin, il serait possible, en plus de ces aménagements, de mettre une place une plage horaire d'extinction de l'éclairage.

L'ensemble des décisions permettrait de ne plus réduire la trame noire à des couloirs restreints et ainsi concéderait une plus grande liberté de déplacement aux chiroptères. Cela réduirait également la pollution lumineuse diffuse au-dessus de Chambray-lès-Tours, induisant une meilleure visibilité du ciel étoilé utilisé par de nombreux animaux nocturnes, comme des espèces d'oiseaux, pour se repérer dans l'espace.

II. Le coût de la trame noire

A. La lumière, une question sociale encore déterminante

Les propositions d'aménagements présentées dans ce devoir, notamment en ce qui concerne la régulation de la lumière et la réflexion sur l'éclairage public à Chambray-lès-Tours, se concentrent principalement sur des considérations écologiques, en particulier sur la préoccupation liée à la fragmentation des habitats des chauves-souris. Toutefois, ces suggestions ne tiennent pas compte des aspects sociaux liés à la présence ou à l'absence de lumière.

En effet, la lumière artificielle, introduite par l'homme, témoigne d'un besoin intrinsèque et d'un mode de vie qui persiste malgré l'obscurité, indépendamment du cycle jour/nuit. Les éclairages

publics sont largement perçus comme une mesure de sécurité pour les usagers de l'espace public, qu'ils soient piétons ou conducteurs. La lumière est perçue comme un bouclier contre d'éventuelles agressions ou cambriolages. La lumière offre un sentiment de réconfort, les habitants l'associant à l'urbanité, à la société moderne. Elle procure un sentiment de contrôle sur l'environnement et de domination sur la nuit, traditionnellement liée à l'inconnu et à la peur (Augoyard et al. 1990, Mosser 2007).

Ces considérations sociales sont à prendre en compte lors de la création d'une trame noire. En effet, pour pouvoir proposer des aménagements cohérents et ayant un impact durable dans le paysage nocturne, il est préférable de favoriser l'intégration de ceux-ci auprès des habitants car ils se trouvent dans leur espace de vie quotidien. Ainsi, il est important de mener, en plus d'une étude écologique évidente, une réflexion sociale autour de la trame noire et des aménagements qu'elle implique. Il est alors primordial d'inclure les résidents dans le processus de création et d'opter pour une communication claire et une sensibilisation à la pollution lumineuse ainsi qu'à la faune impactée (Libaert 2016).

La prise en compte des aspects sociaux témoignera également de la réussite de la mise en place de la trame noire. Le secteur privé est aussi un grand producteur de lumière artificielle qui pourrait entraver la mise en place de corridors sombres efficaces. Inclure les habitants, et plus généralement des occupants des zones traversées par les corridors écologiques, permet d'impacter et de réduire la pollution lumineuse émanant du secteur privé. Encourager le questionnement autour des problématiques environnementales et l'extinction des lumières privées sans pour autant se désintéresser des personnes vivant sur place permettrait une meilleure acceptation sociale du projet, indispensable pour une trame noire impactante (Battelier 2015).

B. Un engagement économique pour la commune

La mise en place d'une trame noire dans une commune n'est pas sans impact économique. On peut d'abord se dire qu'une trame noire, c'est éteindre la lumière des éclairages ce qui permettrait de faire des économies d'énergies pour la commune et les privés concernés puisque la consommation électrique diminue et qu'il y a moins de maintenance à réaliser (changement des ampoules par exemple). Cependant les aménagements proposés plus hauts demandent des coûts parfois conséquents. Ainsi, le changement d'équipements avec la mise en place de lampadaire bas demande d'adapter leur placement par des travaux, en plus du prix unitaire des lampadaires. La pose de plots routiers rétro-réfléchissants se fait grâce à un carottage pour qu'il soit incrusté dans le sol indique également la nécessité de légers travaux sur la chaussée, en plus du prix unitaire allant de 10 à 20 €. Le changement de lampadaire pour des luminaires à détecteur de présence engendre aussi des coûts liés à la pose au prix unitaire du produit allant de 100 à 1000 € selon les modèles. L'enlèvement de certains éclairages devenus inutiles représente également des frais de maintenance. Cette liste non exhaustive démontre l'investissement économique que représentent les modifications, les aménagements mais aussi l'entretien à mettre en place pour les corridors sombres.

De plus, pour mener à bien la trame noire, il est nécessaire d'effectuer des suivis réguliers des populations de chiroptères pour comprendre leurs évolutions après la modification de la fragmentation de leurs habitats. Ces suivis prennent du temps et représentent un investissement

pour le commanditaire, que ce soit un chercheur de par le temps passé sur la prospection ou que ce soit la ville qui devra engager un bureau d'étude.

Enfin, éteindre la lumière, notamment au niveau de zones commerciales, peut potentiellement entraîner une réduction de l'activité et le nombre de visites des consommateurs. En effet, la lumière a un impact économique sur le chiffre d'affaires des commerçants qui disposent de luminaires et d'une vitrine bien éclairée puisque cela sert aussi à attirer l'œil de clients potentiels sur les produits en vente.

III. Critique de l'étude

A. Limites et Manquements

Tout d'abord, il est essentiel de souligner le manque de données concernant l'éclairage public de Chambray-lès-Tours. L'absence de relevés géographiques et cartographiques des luminaires n'a pas permis d'obtenir une précision stricte sur leur emplacement et donc sur les points émetteurs de lumière artificielle. Avoir plus d'information sur chaque point lumineux, comme la puissance ou le type d'ampoule, aurait également permis d'envisager plus précisément la dispersion de la lumière dans l'espace. En outre, une autre faiblesse liée à l'analyse de la pollution lumineuse a été la non prise en compte de toutes les sources de pollution lumineuse. L'étude actuelle se concentre principalement sur l'éclairage public comme source de pollution lumineuse, négligeant d'autres formes de luminosité artificielle affectant tout autant le paysage nocturne, telles que celles émises par des entreprises privées, des résidents ou la circulation. Une approche plus exhaustive impliquerait une évaluation complète de l'ensemble des sources de pollution lumineuse afin d'appréhender pleinement l'ampleur du problème et de formuler des recommandations adaptées. La qualité des résultats de l'étude et la pertinence des propositions d'aménagement dépendent directement de la disponibilité et de la précision des données. Cela souligne la nécessité de combler les informations lacunaires par une étude approfondie des points lumineux, notamment au niveau des zones sensibles, pour garantir une approche véritablement efficace et durable.

De plus, le mémoire se base sur un inventaire de biodiversité de 2018 qui relève la présence de plusieurs espèces de chiroptères à Chambray-lès-Tours. C'est un des premiers rapports précis sur les chauves-souris mais celles-ci n'étant pas la cible du dossier, des imprécisions demeurent. Tout d'abord, le fait que les enregistrements aient été réalisés uniquement en quatre lieux de la commune limite la représentativité des résultats. Par ailleurs, les prospections physiques pour détecter la présence de chauves-souris se sont concentrées uniquement sur des endroits où ces espèces avaient déjà été observées, introduisant un biais potentiel dans les données. Une étude exhaustive devrait idéalement couvrir l'ensemble du territoire pour obtenir une cartographie plus complète de la distribution des chauves-souris mais aussi des espèces présentes sur le territoire communal. Cela permettrait d'avoir une idée plus juste de leur exposition à la lumière artificielle. Enfin, la question du recul temporel se pose, car il n'y a pas d'informations sur l'évolution de la population de chiroptères dans la commune. Afin de comprendre pleinement l'impact de l'éclairage public, il serait essentiel d'analyser si la présence de chauves-souris a augmenté, diminué ou est restée stable au fil du temps.

Cette perspective "historique" offrirait une vision plus complète des tendances démographiques, mais on peut suggérer qu'avec la mise en place d'une trame noire, il sera évident d'analyser l'évolution des populations de chiroptères.

B. Perspectives du projet

Pour étendre la démarche commencée dans ce projet de fin d'étude, il serait pertinent de s'intéresser à d'autres taxons tels que les amphibiens et les oiseaux. Animaux très sensibles à la pollution lumineuse et qui sont amenés à utiliser le ciel étoilé, les réseaux de corridors sombres leur sont tout autant indispensables que pour les chauves-souris. Il serait judicieux de concevoir des aménagements adaptés à leurs besoins spécifiques et leur emplacement sur le territoire. Une fois l'analyse écologique complétée, l'analyse sociologique de la trame noire à Chambray-lès-Tours représente une étape cruciale dans la compréhension des interactions entre la population locale et son environnement nocturne comme mentionné plus haut. C'est donc une étape inévitable avant la création définitive de la trame noire.

Une fois ces analyses approfondies réalisées, la trame noire peut être conçue en prenant en compte chaque partie prenante du réseau écologique. Dans la continuité de l'étude, il semble évident de présenter les résultats et les recommandations aux élus et aux agents référents de la commune de Chambray-lès-Tours. L'objectif serait de susciter l'engagement des décideurs locaux en faveur de la préservation de la trame noire, en intégrant ces éléments dans les politiques d'urbanisme et de développement durable de la commune. Dans le contexte actuel de préoccupation environnemental, on peut espérer que la commune, avec l'appui d'organisme environnemental et d'instituts de recherches, accepte de se lancer dans le projet de création concrète d'une trame noire sur son territoire. L'objectif final serait que Tours métropole s'appuie sur le projet de Chambray-les-Tours pour diminuer la pollution lumineuse émise et établir un ensemble de "réservoirs" et de corridors sombres sur son territoire.

Conclusion

En conclusion, l'étude approfondie des corridors écologiques et de la fragmentation lumineuse à Chambray-lès-Tours souligne l'impératif de repenser nos interactions avec la nuit. Les analyses des cartes d'occupation des sols, de l'inventaire de la biodiversité et des cartes du ciel nocturne ont révélé de manière évidente les pôles de pollution lumineuse, ainsi que les zones sensibles pour les chiroptères.

Ces constats ont instigué la proposition d'un réseau de corridors sombres, formant une trame noire spécifiquement adaptée aux chauves-souris, visant à minimiser les impacts néfastes de la lumière artificielle sur leurs déplacements. Les recommandations en matière d'aménagements pour la création de cette trame noire sont diversifiées, soulignant qu'une approche unique ne saurait convenir à l'ensemble du territoire communal. Il est crucial de reconnaître la variabilité des solutions possibles, permettant ainsi à la commune d'adopter des approches spécifiques en fonction des caractéristiques locales et des besoins des chiroptères.

L'extinction de l'éclairage, la mise en place de passages à faune souterrains et le remplacement des sources de lumière à large spectre par celles à spectre étroit sont autant de mesures recommandées. Il est toutefois essentiel de souligner que la mise en œuvre de ces solutions peut se faire progressivement, en phase avec les travaux prévus par la commune. Cela permettrait non seulement d'ajuster les interventions en fonction des priorités et des opportunités, mais aussi de recueillir des retours sur l'efficacité de la trame noire avant de généraliser son application à l'ensemble du territoire communal.

En définitive, cette étude offre une perspective sur la nécessité pressante de repenser notre rapport à la lumière nocturne et de concevoir des solutions novatrices pour préserver la richesse de la biodiversité nocturne à Chambray-lès-Tours et plus généralement dans la métropole tourangelle. L'adoption de ces recommandations pourrait non seulement contribuer à la protection des chiroptères, mais également à la création d'un environnement nocturne équilibré et harmonieux pour toutes les espèces qui dépendent de l'obscurité pour prospérer.

Table des figures et des tableaux

Figure 1 : Carte de l'occupation du sol de la ville de Chambray-lès-Tours, LARDIT 2023.....	10
Figure 2 : Visualisation de la répartition des zones végétalisées et humides dans Chambray-lès-Tours, LARDIT 2023.....	11
Figure 3 : Orientation d'aménagement et de programmation – Confronter la trame verte et bleue communale, PLU de Chambray-lès-Tours 2022.....	12
Figure 4 : Localisation des sites pour lesquels des inventaires (prospection acoustique) ont été réalisés, Biotope 2018.....	13
Figure 5 : Récapitulatif des cartes éditer grâce aux données satellitaires de la NASA traduisant la pollution lumineuse à Tours métropole et plus particulièrement à Chambray-lès-Tours, Sites consultés en décembre 2023.....	14
Figure 6 : Carte des trames vertes et bleues relatives aux déplacements des chiroptères, LARDIT 2023.....	17
Figure 7 : Carte de la répartition des éclairages publics et leurs portées dans Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024.....	18
Figure 8 : Identification des zones de conflits dans la démarche de création de trames noires à Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024.....	19
Figure 9 : Représentation de la trame noire à Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024.....	21
Figure 10 : Exemples de luminaire bas à destination de la circulation nocturne des piétons.....	22
Figure 11 : Exemples de routes pourvues de plots rétro-réfléchissants, Crzyl.net.....	22
Figure 12 : Spatialisation des aménagements pour la création d'une trame noire à Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024.....	23
 Tableau 1: Comparatif des distances entre chaque lampadaire par type de route et par ville, LARDIT 2023.....	 15

Bibliographie

- Angerand, C., (2021). *Étude de la pollution lumineuse dans le cadre de la création d'une Trame Noire. Approche transversale pour la valorisation des paysages nocturnes*. Le cas du Parc naturel Burdinale-Mehaigne, Wallonie. <http://hdl.handle.net/2268.2/11891>
- Arthur, L., & Lemaire, M., (2021). *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse* : Troisième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 592 p. (Hors collection ; 46).
- Augoyard J.F., Amphoux P., Delétré J.J., (1990). *Les facteurs lumineux du sentiment d'insécurité*. Rapport de recherche 18, CRESSON, MELTEM. Pp.107 <https://hal.science/hal-01373814>
- Azam, C., Le Viol, I., 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, pp. 123-135. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2018.02.011
- Batellier, P., (2015). *Acceptabilité sociale : Cartographie d'une notion et de ses usages*. Centre de recherche en éducation et formation relatives à l'environnement et à l'écocitoyenneté
- Boldogh, S., Dobrosi, D., Samu, P., (2007). *The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences*.
- CEREMA, (2016). *Chiroptères et infrastructures de transport*. https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/15890/chiropteres-et-infrastructures-de-transport?_lg=fr-FR
- CEREMA. (2019). *Trame noire en Hauts-de-France*. Mission d'assistance de la DREAL et du ministère de la transition écologique et solidaire. Rapport d'étude. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2020/11/rapport_c18ne0108_dreal_hdf_trame_noire_2_0.pdf
- Claireau, F., Bas, Y., Pauwels, J., Barré, K., Machon, N., Allegrini, B., Puechmaille, S.J., Kerbiriou, C., (2019). *Major roads have important negative effects on insectivorous bat activity*. *Biol. Conserv.* 235, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.002>
- Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CCM, Elvidge CD, Baugh K, et al. (2016). *The new world atlas of artificial night sky brightness*. *Sci Adv* . <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E.-K., Tockner, K., (2010). *Light pollution as a biodiversity threat*. *Trends Ecol Evol*. doi: 10.1016/j.tree.2010.09.007.
- Laforge, A., Fonderflick, J., Besnard, A., (2018). *Projet « Trame noire » : connectivité écologique nocturne et Chiroptères*. 37. 69-74. https://www.researchgate.net/publication/324391146_Projet_Trame_noire_connectivite_ecologique_nocturne_et_Chiropteres

- Lapostolle, D., & Challéat, S. (2019). *Lutter contre la pollution lumineuse: Trois processus de valorisation de l'obscurité dans les territoires français*. *VertigO*, volume 19 numéro 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.26057>
- Le Tallec, T., (2018). *Quel est l'impact écologique de la pollution lumineuse ?*: Encyclopédie de l'environnement.
- Libaert, T. (2016). Présentation générale. Communication et environnement, des approches en transition. In Libaert, T. (Ed.), *La communication environnementale*. CNRS Éditions. doi :10.4000/books.editions-cnrs.20841
- Ministère de la transition écologique et de la cohérence des territoires. (2017). *Plan National d'Actions Chiroptères - 2016-2025*. Conservatoire d'espaces naturels. <https://plan-actions-chiropteres.fr/le-plan-national-d-actions/contexte-enjeux>
- Mosser, S. (2007). *Éclairage et sécurité en ville : l'état des savoirs*. *Déviance et Société*, 31, 77-100. <https://doi.org/10.3917/ds.311.0077>
- Musters, C.J.M., Snelder D.J., Vos, P. (2009). *The effects of coloured light on nature*. p. 43. <https://bit.ly/3iAKQ0t>
- Pauwels, J., Le Viol, I., Azam, C., Valet, N., Julien, J.-F., Bas Y., Kerbiriou, C., (2019). *Accounting for artificial light impact on bat activity for a biodiversity-friendly urban planning*. *Landscape and Urban Planning*, 183, pp. 12-25. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2018.08.030
- Plan Local d'Urbanisme de la ville de Chambray-lès-Tours. (2022). *Orientation d'Aménagement et de Programmation*. Modification n°3. Révision et annexion par le conseil métropolitain. <https://www.ville-chambray-les-tours.fr/mes-demarches/urbanisme/plu-et-revisions/>
- SEPANT. (2018). *Inventaire de biodiversité communale*. Bilan. Chambray-lès-Tours. <https://www.ville-chambray-les-tours.fr/vivre-a-chambray/environnement/inventaire-de-la-biodiversite-communale/>
- Service d'étude sur les transports, les routes et leurs aménagements - Sétra, (2008). *Routes et Chiroptères, État des connaissances*. Rapport bibliographique. https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/routesetchiropteres.pdf
- Sordello, R. (2017). Pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques. *VertigO*, Volume 17 numéro 3. <https://doi.org/10.4000/vertigo.18730>
- Sordello, R. (2017). Les conséquences de la lumière artificielle nocturne sur les déplacements de la faune et la fragmentation des habitats : une revue. <https://doi.org/10.4000/vertigo.18730>
- Sordello, R. (2018). *Comment gérer la lumière artificielle dans les continuités écologiques ?*, Sciences Eaux & Territoires Numéro 25, 86–89. <https://doi.org/10.3917/set.025.0086>

- Sordello, R., Jupille, O., Deutsch, É., Vauclair, S., Salmon-Legagneur, L., Faure, J.-B. (2018). *Trame noire : un sujet qui « monte » dans les territoires* : Sciences Eaux & Territoires Numéro 25, 78–85. <https://doi.org/10.3917/set.025.0078>
- Sordello, R., Paquier, F., Daloz, A. (2021). *Trame Noire, Méthodes d'élaboration et outils pour sa mise en œuvre*. Office Français de la Biodiversité, Collection Comprendre pour agir. 112 pages
- Vernet, A., (2014). *Analyse de l'effet de la gestion de l'éclairage public sur l'activité des Chiroptères dans le Parc naturel régional du Gâtinais français*.
- Voigt, C., Scholl, J., Bauer, J., Teige, T., Yovel, Y., Kramer-Schadt, S., Gras, P., (2019). *Movement responses of common noctule bats to the illuminated urban landscape*. Landscape Ecology. DOI 10.1007/s10980-019-00942-4.

Annexes

Annexe 1 : Tableau du nombre de contacts de chiroptères enregistrés par espèce et par site, SEPANT 2018

Nom latin	Nom vernaculaire	Localisation des enregistrements					Total général
		1 : Station d'épuration	2 : Etang de l'Hommelaie	3 : Bois des hâtes	4 : Cimetière la croix foutreau	5 : bois écoquartier	
<i>Barbastella barbastellus</i>	Barbastelle d'Europe	1	1	36		3	41
<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotine commune	158	19	3219	6		3402
<i>Myotis daubentonii</i>	Murin de Daubenton			218			218
<i>Myotis emarginatus</i>	Murin à oreilles échancrées	12	4	35	26		77
<i>Myotis mystacinus</i>	Murin à moustaches		7	433			440
<i>Myotis nattereri</i>	Murin de Natterer		1	35			36
<i>Myotis sp</i>	Murin indéterminé			8			8
<i>Nyctalus leisleri</i>	Noctule de Leisler	52	2	101	22		177
<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	7		16			23
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle de Kuhl	47	351	122	415	39	974
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle de nathusius		3		13	1	17
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	3520	5510	3832	4000	1084	17946
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle pygmée		1		6	6	13
<i>Plecotus austriacus</i>	Oreillard gris				7		7
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Grand Rhinolophe			6		1	7
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Petit Rhinolophe			2			2
Total général		3797	5899	8063	4495	1134	23388

Annexe 2 : Tableau récapitulatif des points d'écoutes par espèce de chiroptères, LARDIT 2023

Nom vernaculaire	Nom latin	UICN	Lieux principaux	Présence sur la zone d'étude
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	NT	Bois des Hâtes (3)	Les boisements du bois des hâtes sont fréquentés par la Barbastelle. Il est possible que des individus ou des colonies soient présentes au sein de fissures d'arbres ou d'écroulements d'écorces.
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	LC	Station d'épuration (1) Bois des Hâtes (3)	L'activité relevée pour cette espèce sur la zone d'étude nous indique qu'elle est présente principalement au niveau du parc boisé des Hâtes. Il est fortement possible qu'une colonie soit présente au sein du site.
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	NT	Bois des Hâtes (3)	Cette espèce semble assez présente dans le bois des Hâtes. Les colonies sont à rechercher dans les cavités d'arbres (trous de pic, écorces soulevées, ...)
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	LC	Bois des Hâtes (3) Cimetière la croix fouteau (4)	Le nombre de contacts est faible pour cette espèce. Il n'y a probablement pas de colonies sur la commune ou à proximité, seulement des individus y viennent pour chasser.
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	NT	Bois des Hâtes (3)	Cette espèce ne s'éloigne guère de son gîte (1 ou 2 km). L'activité observée au niveau du parc boisé des Hâtes est importante. Ce boisement semble accueillir de colonie.
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	LC	Bois des Hâtes (3)	Lors des points d'écoute elle n'a été contactée qu'au niveau du bois des Hâtes. Une colonie peut-être présente dans des anfractuosités d'arbres.
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	NT	Station d'épuration (1) Bois des Hâtes (3)	L'espèce a été recensée au niveau des milieux humides et son activité est plus importante au niveau du bois des Hâtes.
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	NT	Bois des Hâtes (3)	Le faible nombre de contacts de l'espèce sur la commune ne laisse pas penser qu'une colonie soit présente.
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	LC	Présente partout	Sur la zone d'étude, elle est très abondante. Les colonies sont à rechercher dans le bâti et en forêt lorsque les arbres possèdent des cavités.
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	LC	Etang l'Hommelaie (2) Bois des Hâtes (3) Cimetière la croix fouteau (4)	Elle semble moins présente que la Pipistrelle commune sur la commune. L'activité semble plus importante à proximité des boisements.
Pipistrelle de nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	NT	Cimetière la croix fouteau (4)	Le faible nombre de contacts de l'espèce, son comportement migratoire et la période des enregistrements (mi-août) ne peuvent pas permettre de dire si une colonie est présente ou non sur la commune.
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	DD	Cimetière la croix fouteau (4) Bois écoquartier (5)	Le faible nombre de contacts de l'espèce sur la commune ne laisse pas penser qu'une colonie soit présente.
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	LC	Cimetière la croix fouteau (4)	Les cris de ces espèces ont une faible portée, il est relativement difficile de les contacter sur le terrain. L'activité très faible observée lors des points d'écoute ne semble pas indiquer la présence de colonies sur la zone d'étude.
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	NT	Bois des Hâtes (3)	Cette espèce est difficile à contacter avec les détecteurs, car ses cris ont une portée très faible de l'ordre de quelques mètres. Les contacts obtenus indiquent que l'espèce est bien présente sur le secteur du parc boisé des Hâtes, il existe probablement une colonie dans un rayon de deux ou trois km autour du site dans un bâtiment.
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	NT	Bois des Hâtes (3)	Cette espèce est aussi difficile à contacter avec les enregistreurs mais est également présente en chasse dans le bois des Hâtes.

Annexe 3 : Planche photographique des espèces de chauves souris présentes à Chambray-lès-Tours, LARDIT 2024

Barbastelle d'Europe ©Michael Sol	Sérotine commune ©Laurent Arthur	Murin de Daubenton ©David Aupermann
		
Murin à oreilles échancrées ©R. Colombo	Murin à moustaches ©Laurent Arthur	Murin de Natterer ©David Aupermann
		
Noctule de Leisler ©Laurent Arthur	Noctule commune ©Olivier Sousbie	Pipistrelle de Kuhl ©Laurent Arthur
		
Pipistrelle de nathusius ©Laurent Arthur	Pipistrelle commune ©Simon Dutilleul	Pipistrelle pygmée ©Laurent Arthur
		
Oreillard gris ©Laurent Arthur	Grand Rhinolophe ©J-C. de Massay	Petit Rhinolophe ©Michael Sol
		

Directeur de recherche
Francis ISSELIN

Blandine LARDIT
PFE / DAE 5
Option ADAGE
2022-2023

Situer et adapter les aménagements urbains aux déplacements des chiroptères

Création d'une trame noire adaptée à Chambray-lès-Tours

Résumé :

A cause de l'expansion de l'urbanisation, la pollution lumineuse engendrée par l'éclairage public est une problématique ayant de plus en plus d'impact sur les écosystèmes et conduit à la fragmentation des habitats nocturnes. De nombreuses espèces faunistiques, dépendantes de la nuit, se trouvent leurs déplacements restreints par la lumière artificielle, mais le taxon le plus sensible est la chauve-souris. Pour pallier la réduction de son habitat et à la pression que la lumière exerce sur elle, les écologues mettent en place des corridors sombres, dépourvus au maximum de lumière artificielle.

Les métropoles ne sont pas exemptées de cette nécessité de préserver en leur sein, des zones sombres pour les nombreuses espèces et colonies de chiroptères qui élisent domicile dans son périmètre. Pour inciter ces grandes agglomérations, comme la métropole de Tours, à mettre en place des mesures efficaces contre la pollution lumineuse, une première approche de la trame noire par une commune périphérique est la démarche choisie dans le cadre de ce projet de fin d'étude.

Ce devoir retranscrit les différentes étapes de l'analyse écologique dans le cadre de la création d'une trame noire dédiée aux chiroptères à Chambray-lès-Tours. Cette étude reprend les bases de la trame verte et bleue, en ajoutant les problématiques de l'éclairage public et l'analyse des besoins des chiroptères. La réalisation de cartographies expliquées permet de suivre la réflexion menant au choix des emplacements et du type d'aménagements proposés pour établir un réseau de corridors sombres à l'usage des chauves-souris.

Mots Clés : chiroptère, trame noire, aménagements, pollution lumineuse, cartographie, corridor écologique, trame verte et bleue