

Identification et caractérisation de la “ trame noire ” sur le territoire de la Communauté de Communes Loue Lison via deux espèces de chiroptères

Maud Bouziane

▶ **To cite this version:**

Maud Bouziane. Identification et caractérisation de la “ trame noire ” sur le territoire de la Communauté de Communes Loue Lison via deux espèces de chiroptères : le Petit et le Grand Rhinolophe. Géographie. 2020. hal-03116919

HAL Id: hal-03116919

https://univ-fcomte.hal.science/hal-03116919

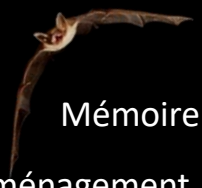
Submitted on 20 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Mémoire de Stage

Master Géographie Aménagement, Environnement et Développement

Aide à la Décision d'Aménagement Urbain et Régional

Identification et caractérisation de la « trame noire » sur le territoire de la Communauté de Communes Loue Lison via deux espèces de chiroptères : le Petit et le Grand Rhinolophe

Année : 2019/2020

Auteur : BOUZIANE Maud

Responsable pédagogique : GIRARDET Xavier

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

Dans un premier temps, je voudrais remercier mon responsable pédagogique, Xavier Girardet, pour sa disponibilité et de son intérêt porté à la bonne réalisation de mon stage. Je le remercie d'avoir cru en moi et de m'avoir fait confiance dans mes idées. Je tiens à le remercier pour ses judicieux conseils et ses questions qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je voudrais remercier Franck Grossiord pour m'avoir accepté au sein de l'association Sigogne afin que je puisse réaliser mon stage de fin d'étude. Je le remercie pour sa disponibilité et pour m'avoir fait confiance dans ma mission. Je le remercie de son intérêt porté au bon déroulement du stage pendant une période de crise sanitaire.

Je voudrais remercier Adeline Pichard pour s'être toujours montrée présente pour moi et pour m'avoir apporté un dynamisme dans l'organisation de mon stage. Je la remercie pour ses connaissances naturalistes. Je voudrais également remercier Emmanuel Cretin pour m'avoir fait connaître le territoire et m'avoir apporté des éléments essentiels à la compréhension du paysage. Je les remercie pour m'avoir fait découvrir les spécificités du territoire et de m'avoir fait passer un bon moment partage.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Noémie Massoz, qui a toujours été présente dans les différentes étapes de mon stage, je la remercie pour m'avoir aidé à chaque questionnement de ma part et je la remercie de m'avoir toujours soutenue.

Je voudrais remercier Noémie Massoz, Adeline Pichard et Xavier Girardet d'avoir relu et corrigé mon mémoire. Leurs conseils de rédaction ont été très précieux.

Sommaire

1. Introduction 3
1.1. Contexte 3
1.1.1. Lutte contre la fragmentation des habitats 3
1.1.2. La pollution lumineuse : un phénomène impactant la trame noire 4
1.1.3. Les Rhinolophes et leur caractère lucifuge 6
1.2. Objectifs 9
2. Méthode 10
2.1. Le terrain d'étude 10
2.2. La présence du Petit et Grand Rhinolophe sur le territoire Loue Lison 12
2.3. La perturbation lumineuse 13
2.3.1. La localisation des sources lumineuses 13
2.3.2. Modélisation de l'éclairage artificiel 14
2.4. Construction d'un modèle d'occupation du sol 15
2.4.1. Les données 15
2.4.2. La création de la carte d'occupation du sol 17
2.4.3. Plusieurs Modèle d'Occupation du Sol pour plusieurs scénarios 18
2.5. Création du graphe 18
2.5.1. Définition de la carte d'occupation du sol 19
2.5.2. Construction du graphe représentant le réseau écologique 20
2.5.3. Calcul de métriques de connectivité 20
3. Résultats 23
3.1. Un réseau écologique touché par la perturbation lumineuse 23
3.1.1. Des gîtes menacés par la barrière lumineuse 23
3.1.2. Un réseau écologique fragmenté 26
3.2. Analyser et mesurer l'impact de la perturbation lumineuse 28
3.2.1. Des corridors écologiques hétérogènes sur le territoire 28
3.2.2. Des connectivités écologiques avec des flux d'espèces variables 31
3.2.3. Une hiérarchie dans les différents éléments qui constituent le réseau écologique 34
3.3. Une trame noire à protéger 37
3.3.1. Des secteurs à enjeux 37
3.3.2. Des recommandations spécifiques à la protection du réseau écologique 39
3.3.3. Vers une aide à la décision dans l'aménagement du territoire 40

1. Introduction

1.1. Contexte

1.1.1. Lutte contre la fragmentation des habitats

La disparition de plusieurs espèces dans le monde ne fait que de s'accroître, aujourd'hui, l'importance de préserver les habitats naturels est au cœur des débats scientifiques et politiques. Cette diminution de biodiversité est en partie due à une fragmentation des habitats (Fischer & Lindenmayer, 2007). En aménagement du territoire, la demande est de restaurer et de préserver ces continuités écologiques. Constituée d'un maillage naturel, elles ont pour but de maintenir les connectivités paysagères (Opdam, 2006 ; Burel et Baudry, 1999). Les réseaux écologiques visent à maintenir la biodiversité et les processus écologiques en protégeant les habitats et leur connectivité, pour lutter contre la fragmentation, leurs utilisations sont préconisée dans l'aménagement du territoire (Jongman, 1995). Pour les prendre en compte, la loi Grenelle de 2007, définit la trame verte et bleue (*Figure 1 : Trame verte et bleue de l'INPN*) comme projet national et les inscrit dans le Code de l'Environnement (Sordello, 2006) ainsi que dans le Code de l'Urbanisme.

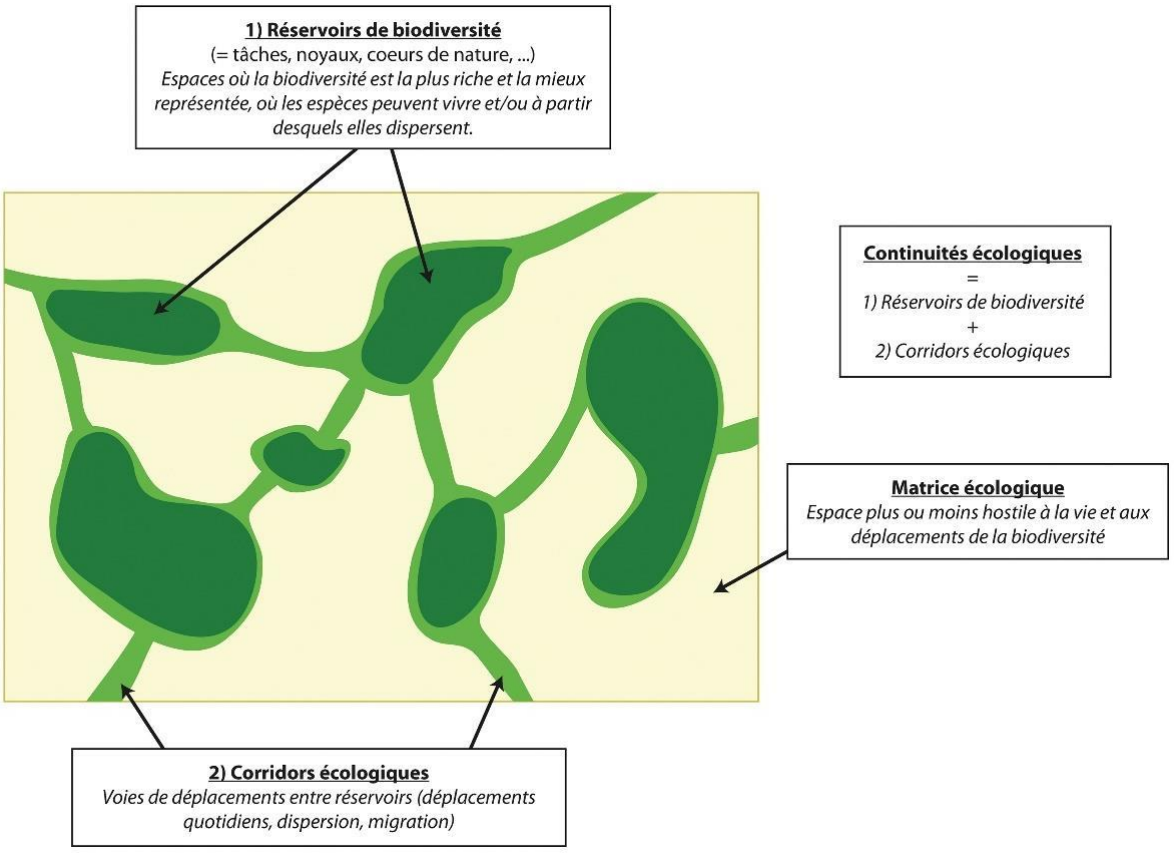


Figure 1 : Trame verte et bleue de l'INPN

Constituées de réservoirs de biodiversité et de corridors écologiques, ces trames ont pour but de localiser les espaces de vie des espèces et représenter les déplacements entre ceux-ci. Ainsi, les collectivités territoriales et autres organismes de l'aménagement du territoire pourront s'appuyer sur des connaissances plus spécifiques de ces réseaux écologiques. L'objectif étant de contribuer au maintien des écosystèmes et favoriser les déplacements des espèces pour que celles-ci puissent mener leur cycle de vie. Avec les lois Grenelles en faveur de l'environnement (2009, 2010) engagé via la mise en place de la trame verte et bleue (TVB) et l'élaboration de Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE). Ainsi, les collectivités locales sont tenues de prendre en compte les continuités écologiques dans les documents d'urbanismes et leurs projets de territoire.

L'intensification agricole a engendré un déclin de la biodiversité important dû à la destruction d'éléments comme les haies mais également par l'utilisation des phytosanitaires qui n'ont cessé d'augmenter ces dernières années (Donald et al., 2001 ; Wickramasinghe et al. 2004 ; Jennings et Pocock 2009)

L'urbanisation est aussi une cause de fragmentation des habitats naturels. La hausse importante du nombre de périurbains, entraine un étalement des villes mais aussi la construction de nombreuses infrastructures (Grimm et al. 2008). Cette expansion urbaine entraîne des conséquences importantes sur la biodiversité et sur les écosystèmes dans les zones urbaines mais aussi en milieu rural (McKinney 2008 ; McDonald et al. 2008).

Corrélativement à leur urbanisation, l'activité nocturne des habitants est de plus en plus visible dans les sociétés modernes (loisirs divers, travail de nuit, …) (Gwiazdzinski, 2002). Cette activité nocturne a engendré la mise en place d'éclairage artificiel afin que les hommes puissent circuler pendant la nuit. L'illumination des villes apporte une source de sécurité pour les habitants, comme le présente l'histoire où la vision de la lumière générait chez les voyageurs un sentiment de sécurité car le refuge était possible. Mais aujourd'hui cette source d'éclairage artificiel augmente de 6 % tous les ans au niveau mondial (Cinzano et al, 2001). Le dernier atlas mondial de la pollution lumineuse publié en 2016 par Falchi et al., montre que plus de 80 % de la population mondiale est désormais concernée et cette proportion s'élève à 99 % en Europe et aux États-Unis.

Certes la construction d'infrastructures sur le territoire entraîne une expansion autour des villes qui diminue les espaces de vie des espèces par des barrières physiques telles que le bâti ou les routes. Mais une autre source de fragmentation des habitats existe, celle de la perturbation lumineuse (Van Grunsven 2017). Elle nuit à la biodiversité (Siblet, 2008 ; Rich et Longcore, 2006), et cause une perturbation essentielle à la vie en impactant les déplacements.

1.1.2. La pollution lumineuse : un phénomène impactant la trame noire

Evidemment, des barrières physiques tels que les routes ou le bâti sont impactantes pour les déplacements des espèces. Mais intégrer la perturbation lumineuse est d'autant plus important, de plus, elle est devenue la deuxième cause d'extinction d'espèces nocturnes (Challéat, 2010).

Cette lumière est mesurée de différentes façon. En astronomie par exemple, c'est la profondeur du ciel qui est évaluée. En écologie on retrouve la luminance qui est le niveau d'éclairement au sol, la sensation visuelle de luminosité d'une surface. (Ex : Botha et al. 2017 ; Riley et al. 2015 ; Lacoeuilhe et al. 2014 ; Perkin et al. 2014, Gaston et al. 2013 ; Bishop 1969 cités par Sordello 2017). Que ce soit par une mesure au sol, aérienne ou satellitaire, chaque domaine a sa propre mesure suivant l'analyse menée.

Afin d'avoir une pollution lumineuse la plus représentative, il faudrait prendre en compte différentes mesures citées ci-dessus.
Ici nous allons nous intéresser à la notion d'éblouissement qui est représentée par l'éclairement lumineux, il caractérise l'intensité lumineuse reçue par unité de surface et se mesure en lux.

D'après plusieurs études sur la pollution lumineuse (Deverchere et al. 2018, Bennie et al. 2014,), la prise en compte de la géolocalisation des lampadaires est une source sûre pour constituer la barrière immatérielle.

Les différentes approches de la cartographie de la pollution lumineuse (Deverchere et al. 2018) que nous propose le bureau d'étude Darkskylab, spécialisé dans l'expertise scientifique de la pollution lumineuse et de ses impacts sur les écosystèmes, sont :

- les images satellites basse résolution mesurant la radiance
- les bases de données géolocalisées des agglomérations avec connaissance des populations (la loi de Walker montre un lien entre la population et le niveau d'éclairement)
- Statistiques détaillées sur la nature des sols (tissu urbain, sol artificialisé, prairies, espaces boisés, etc.)
- Sources lumineuses discrètes géolocalisées

En prenant en compte les trois axes souvent utilisés dans l'étude de la pollution lumineuse (l'axe spatial, l'axe temporel et l'axe spectral), la géolocalisation des points lumineux offre une très bonne prise en compte de ceux-ci contrairement aux autres approches (Deverchere et al. 2008).

Néanmoins, cette donnée présente plusieurs paramètres à ne pas négliger soit le type de lampadaire, l'intensité, l'inclinaison ou encore la couleur de la lumière. En 2017, Dans les pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques, Romain Sordello évoque les différents types de lumière manifestés par les sources d'éclairage artificiel *(Figure 2 : Variables d'éclairage de Sordello*).

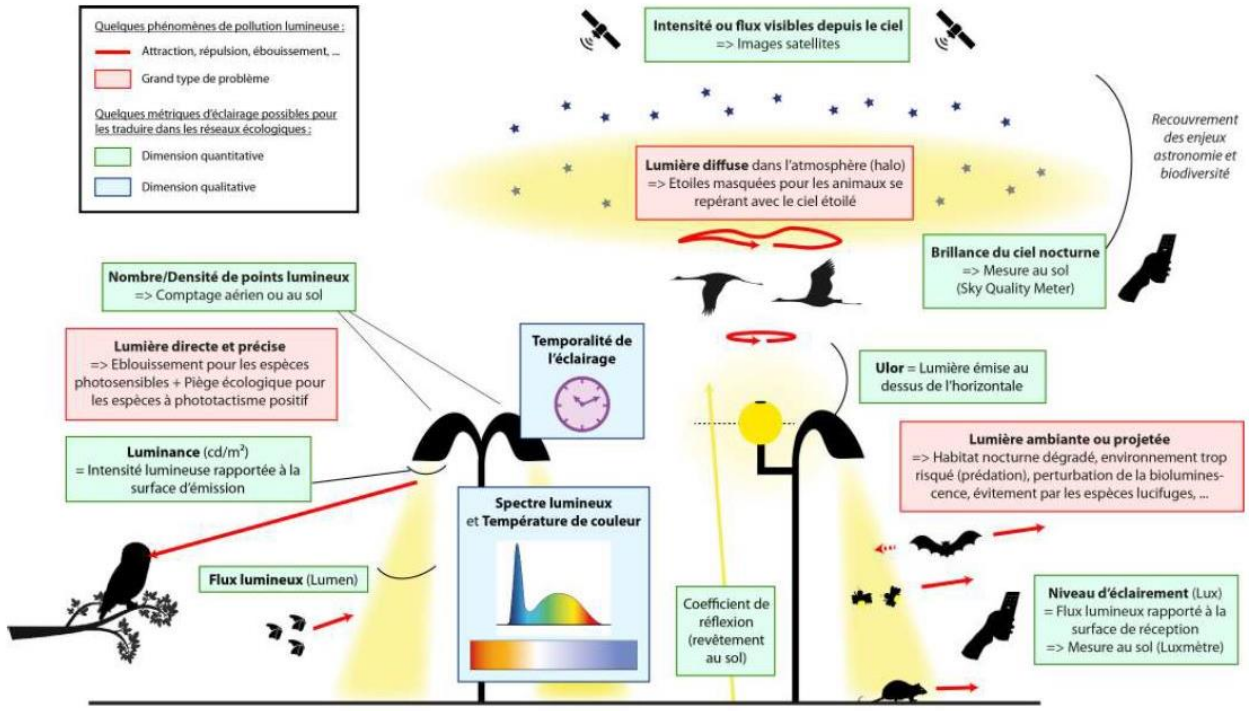


Figure 2 : Variables d'éclairage « Les métriques d'éclairage possible pour les traduire dans les réseaux écologiques » de Sordello. Dans cette la lumière ambiante ou projetée sera évaluée

L'éclairage artificiel est donc complexe à intégrer dans les réseaux écologiques. Pour cette analyse, le choix est de représenter la lumière ambiante et projetée par son effet répulsif chez les espèces lucifuges.

En présence d'éclairage artificiel, deux types de comportements ont pu être remarqué chez certaines espèces nocturnes, soit elle présente un phénomène de phototaxie positive, ce qui signifie que l'éclairage présente un pouvoir d'attraction chez les animaux ou au contraire elle provoque une phototaxie négative, dans ce cas, elle va émettre un pouvoir de répulsion chez les animaux. En 1970, en Suisse, plus d'un millier d'oiseaux ont été retrouvés morts contre une affiche publicitaire (Bruderer, 2002), cette représentation montre le pouvoir attractif de la lumière. En contre-exemple, les rapaces nocturnes, très sensibles à l'intensité lumineuse dû à leurs rétines en bâtonnets vont être éblouis et perdre leurs proies. Cette perturbation touche énormément d'espèces, 30 % des vertébrés et 60 % des invertébrés sont nocturnes (Holker, 2010b).

Avec la perturbation lumineuse, les espèces nocturnes peuvent être désorientés et ne plus savoir où continuer leurs parcours. Ainsi, la nuit tombée, en superposant la trame verte et bleue à l'obscurité, une autre trame existe, celle de « la trame noire ». (*Figure 3 : Trame noire*).

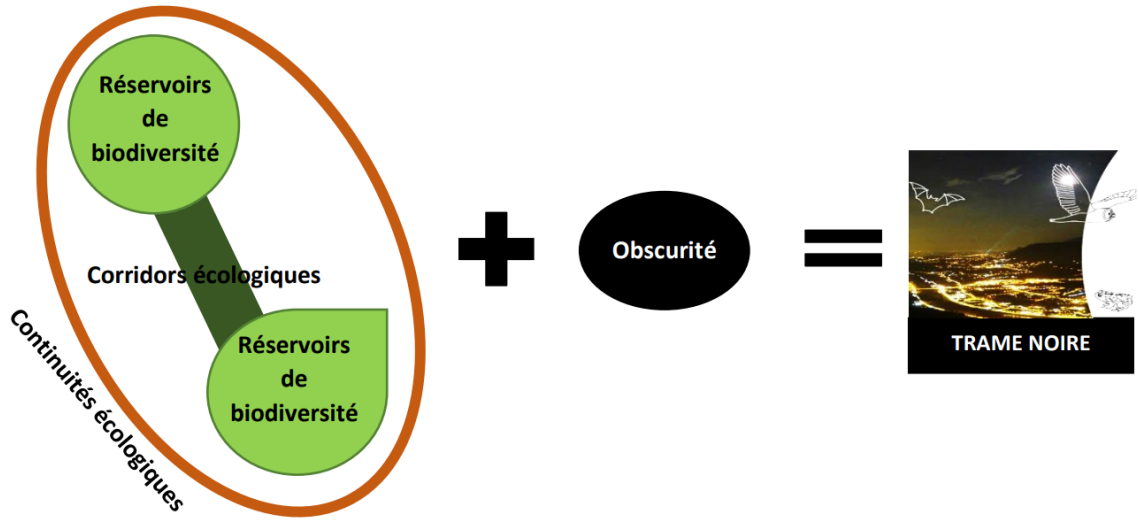


Figure 3 : Trame noire

Sur ce sujet, Romain Sordello, vise à intégrer la trame noire dans les réseaux écologiques déjà proposés. De toutes les trames évoquées (trame aérienne, trame brune…), la trame noire est la plus ancienne, étudiée par exemple, par Samuel Challéat en 2010. Romain Sordello propose l'identification des réservoirs de biodiversité existants comme les parcs nationaux/régionaux ou les ZNIEFF (normalement les plus exemptés de la pollution lumineuse). En plus de ces espaces existants, l'ajout de nouvelles zones est proposé afin de tenir compte de la densité d'éléments favorables et ajouter le critère de l'obscurité.

1.1.3. Les Rhinolophes et leur caractère lucifuge

Justement, certaines espèces de chiroptères, sont dites « lucifuges » ou encore « photophobes », dû à leur sensibilité à la lumière. Chaque espèce de Chiroptères présente ses spécificités, par exemple l'effet de la lumière sur elles. Deux types de chauves-souris se distinguent, celles qui possèdent un vol lent comme les Rhinolophes dites espèces glaneuses (Julien 2018) et qui évitent les

zones éclairées (Rydell 1992 ; Stone et al. 2009, 2012 ; Kuijper et al. 2008). A l'inverse de celles aux vols rapides, comme les pipistrelles, qui s'orientent vers la lumière pour profiter des insectes qui y sont attirés. Notre étude se base sur les espèces lucifuges qui sont repoussées par la lumière.

Le choix des chiroptères est un bon exemple afin de pouvoir représenter les déplacements nocturnes au sein du territoire Loue Lison. Celui-ci est propice à ces espèces pour sa capacité en gîtes (voir photos : Exemple de vieux bâtis sur le territoire Loue Lison), et d'éléments naturels qui structurent le paysage. De plus toutes les chauves-souris, leurs lieux de repos et de reproduction sont strictement protégés en Europe dans le cadre du programme européen "Habitats Directive (Conservation des habitats naturels de la Flore et faune sauvages 1992/42/CEE).

Les chiroptères sont des espèces nocturnes et sensibles à la lumière, ce sont donc des espèces propices à l'étude de la « trame noire ». De plus, avec 28 espèces présentes en Bourgogne-Franche-Comté contre 32 recensées en France, préserver ce patrimoine est donc un élément essentiel au bon fonctionnement écologique.

Le Petit Rhinolophe (*Rhinolophus Hipposideros*) (*Figure 4*) est une espèce bien présente sur le territoire d'après les données de Natura 2000 de 2014 (Muséum national d'Histoire naturelle) ainsi que les données de la CPEPESC (Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères de Franche-Comté). Cette espèce est d'autant plus importante qu'elle fait partie des chiroptères qui ont le plus régressé au monde (Tournant 2013). Le Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) (*Figure 5*) possède des éléments de vie et de chasse semblables aux Petits Rhinolophes, ils ont donc formé un groupe pour cette étude. La représentation de la trame noire de ce territoire est fondée sur ces deux espèces particulièrement proches.



Figure 4 : Le Petit Rhinolophe



Figure 5 : Le Grand Rhinolophe

En se rapportant à des études scientifiques et de terrains déjà effectuées sur ces chiroptères (Tournant 2013, Laforge et al. 2019), nous pouvons baser notre méthodologie sur leurs comportements, leur cycle de vie et sur leurs préférences paysagères. De plus la littérature nous offre des éléments sur leur sensibilité à la lumière (Azam 2015, Stone 2012) ; leur caractère photophobe étant un élément clé à la modélisation de leur réseau écologique.

Pour pouvoir créer un modèle représentant les déplacements potentiels de ces espèces, il est important de s'informer sur le mode de vie qu'elles ont. Il faut savoir que ces deux espèces de Rhinolophes sont hivernantes : au cours de l'année, elles se déplacent entre deux gîtes ; entre le gîte d'hiver (gîte d'hivernage) situé dans des greniers ou des caves (Altringham et al. 1996) et le gîte d'été (gîte de maternité), durant les journées. Les individus sont présents dans de vieilles bâtisses telles que les églises, les granges et greniers situés dans des villages ou dans des propriétés isolées (McAney et Fairley 1988 ; Weiner et Zahn 2001, cités dans Tournant 2013).

Les espèces vivent en colonie matriarcale, durant la période d'activité (période estivale), les individus d'une même colonie se repartisse le territoire sur un rayon moyen de 2,5 km autour du gîte de maternité, avec une distance maximale de 5 km. Mais plus les espaces de chasses sont proches du gîte, moins les espèces iront loin pour s'alimenter. Reiter (2013) et Bontadina (2002) préconisent des efforts de protection dans un rayon de 2,5 km autour du gîte et montre une préférence augmentée de

l'activité de chasse dans un rayon de 600 m (Tournant 2013) *(Figure 6 : Cycle de vie du Petit Rhinolophe*).

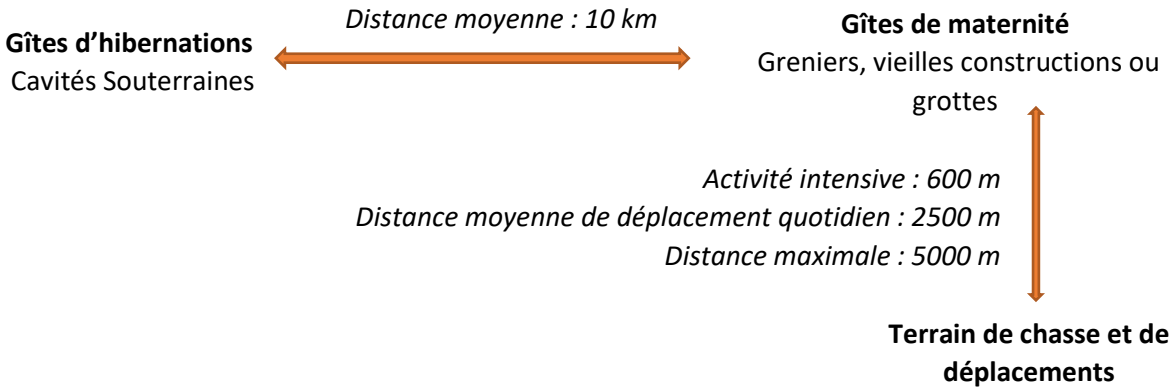


Figure 6 : Cycle de vie du Petit Rhinolophe

Les éléments boisés à la sortie du gîte comme les haies, lisières et arbres isolés, sont indispensables aux Rhinolophes pour éviter au maximum les espaces bâtis (Limpens et Kapteyn 1991; Verboom et Huitema 1997). Les individus empruntent des routes de vols avec pour structures paysagères principalement des linéaires tels que les haies, les lisières, les ripisylves, les canaux et les cours d'eau (Bontadina et al. 2008 ; Fuentes-Montemayor et al., 2013). La présence d'arbres est très importante dans leurs déplacements pour plusieurs raisons : ils peuvent servir de perchoir pour un moindre repos, d'abris des prédateurs, de repères pour s'orienter et leur présence indiquent des lieux d'alimentation (Straka et al. 2019). De plus, ces deux espèces de Rhinolophes évitent les espaces trop ouverts comme les prairies et les cultures, à contrario ils évitent les espaces fermés et vont plutôt se déplacer dans les lisières de forêts. Contrairement à d'autres espèces comme les Pipistrelles, les Rhinolophes se déplaceraient plus dans les forêts de feuillus, les forêts de conifères ne présenteraient pas des zones de chasse attractives pour elles et encore moins un habitat (Carlier et al. 2019), du fais de la raréfaction de leur nourriture dans ces habitats. Les Rhinolophes sont des espèces glaneuses, qui se nourrissent de coléoptères par exemple (dire d'expert), c'est le type de nourriture qui va aussi influencer le type d'habitat que ces espèces fréquente.

La proximité d'une source d'eau semble être, elle aussi, favorable aux individus. Dans un contexte agricole et urbanisé, comme dans notre zone d'étude, la présence de cours d'eau est importante entre les gîtes et les terrains de chasse (Laforge et al. 2018). Comme nous le rappel P. Tournant (2013), c'est la présence et non la surface en eau qui est importante pour les Rhinolophes, les ripisylves sont donc des éléments structuraux pour les déplacements de ces espèces.

Pour récapituler, voici une liste (*Figure 7 : Préférences Paysagères)* répertoriant les milieux favorables aux Petits et Grands Rhinolophes :

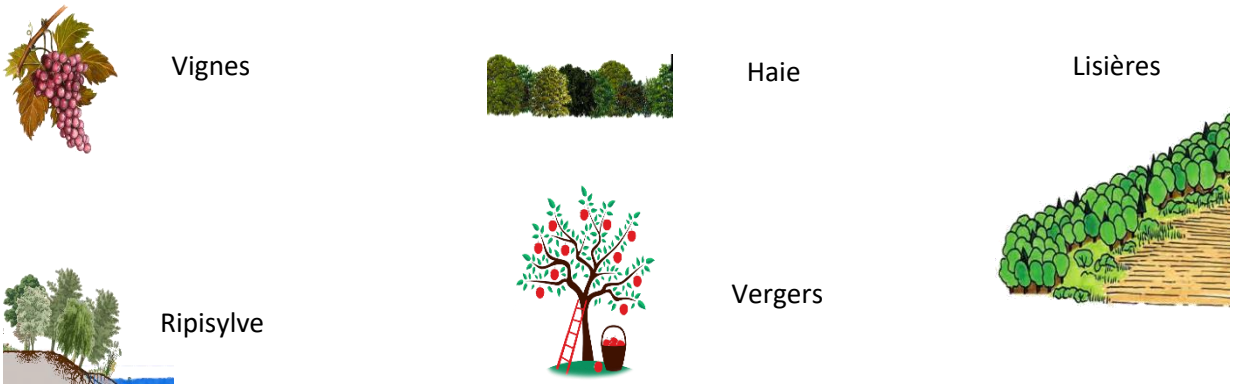


Figure 7 : Préférences Paysagères

Il faut savoir que la pollution lumineuse est l'action qu'a la lumière artificielle de nuire à l'alternance jour/ nuit (Longcore et Rich 2004), toutes sources lumineuses sont alors néfastes pour les Rhinolophes. Aujourd'hui, il faut savoir que les routes sont éclairées avec une moyenne de 15 lux. D'après des études menées par Emma Stone en 2012, les niveaux de lumière devraient être inférieurs à au moins 3,6 lux pour être dépassés par les petits Rhinolophes. Dans un contexte sans lumière artificielle, les Rhinolophes se déplaceraient naturellement en présence de l'intensité lumineuse de la lune équivalente entre 0,1 et 0,3 lux (S.Milius et al. 2005 ; A.B. Lang et al. 2006).

En se fondant sur ces mesures, la modélisation de la trame écologique des Rhinolophes est possible, en intégrant la distance de leurs déplacements, l'occupation du sol ainsi que l'éclairage artificiel.

1.2. Objectifs

Plusieurs études ont été faites sur le territoire français, comme le projet de Biotope effectué sur l'agglomération de Lille, ou encore le projet « trame sombre » effectué sur le Parc National des Pyrénées. Malgré ces approches, une méthode standardisée pour pouvoir représenter cette trame, n'existe pas encore. Mais il est toutefois importante de prendre en compte ces trames dans les documents d'urbanisme, à l'échelle régionale (via le SRCE), mais aussi à l'échelle locale (au sein des SCOT ou des communautés de communes). Une connaissance des réseaux écologiques au sein des organismes plus locaux est un élément intéressant afin de pouvoir préserver les espèces locales qui y vivent, et ainsi les prendre en compte dans l'aménagement du territoire. Il est nécessaire d'identifier des réservoirs de biodiversité et des corridors nocturnes. En se basant sur des études déjà effectuées, la méthodologie proposée ci-dessous est inédite mais reprends les grands objectifs de la localisation des réservoirs de biodiversité ainsi que les corridors. En n'utilisant que des logiciels libres, il est possible de reproduire cette même étude sur n'importe quel territoire car il est important de trouver une méthode générale afin qu'une harmonie globale sois visible sur le territoire.

Ce projet est un partenariat entre l'Université de Franche Comté, l'association Sigogne de la Maison de l'Environnement de Bourgogne Franche Comté et EPAGE Haute Doubs Haute Loue, l'identification de la trame noire sur le territoire Loue Lison est la mission proposée. Ces structures différentes nous offrent des informations répondant aux enjeux de l'étude. Ce projet apportera une méthode de modélisation à l'association Sigogne qui s'occupe de la visualisation des espaces de vie des espèces. EPAGE HDHL est la structure qui connaît le territoire et permet de se l'imprégner, la connaissance de son réseau écologique nocturne leur apportera un outil d'aide à la décision sur différents projets de territoire. Le laboratoire Théma, de l'Université de Franche Comté, a développé le logiciel « Graphab », permettant de modéliser des réseaux écologiques. Grâce à ce projet, l'application d'un tel logiciel peut alors être bénéfique et apporter une nouvelle méthode jusqu'ici non appliquée. Ainsi avec ces 3 structures, modéliser la trame noire est alors possible.

Cette mission a pour but d'intégrer la « trame noire » dans les documents d'urbanisme, plus précisément dans les PLU(i). L'apport de la modélisation des parcours potentiels des espèces présentes sur le territoire, aura plus de poids auprès des décideurs de l'aménagement du territoire. L'objectif est également de localiser les ruptures écologiques, afin de pouvoir les restaurer ou protéger les réseaux écologiques déjà présents.

Ce stage propose une méthode qui permet d'appréhender les différentes étapes à mettre en place, pour répondre aux objectifs du travail. C'est une proposition méthodologique qui montre une possibilité de modélisation de « la trame noire » via deux espèces de chiroptère.

Ainsi, comment prendre en compte concrètement la pollution lumineuse dans le réseau écologique de deux espèces de chiroptères ? Et comment l'intégrer dans les projets d'aménagement du territoire ?

Pour répondre à cette problématique, trois objectifs se distinguent. Dans un premier temps une méthodologie bien spécifique est à étudier afin de modéliser le réseau écologique des espèces. Ensuite nous allons pouvoir localiser les ruptures et les secteurs à enjeux des Rhinolophes afin d'apporter une aide à la décision dans l'aménagement du territoire.

2. Méthode

2.1. Le terrain d'étude

L'intérêt d'identifier la trame noire est de venir compléter les expertises déjà menées sur les trames vertes et bleues dans le cadre des futurs documents d'urbanisme (PLUi, PLU et cartes communales) sur le territoire de la communauté de communes Loue Lison. En effet, depuis de nombreuses années l'objectif de l'EPAGE Haut Doubs Haute Loue est d'intégrer les continuités écologiques aux projets futurs.

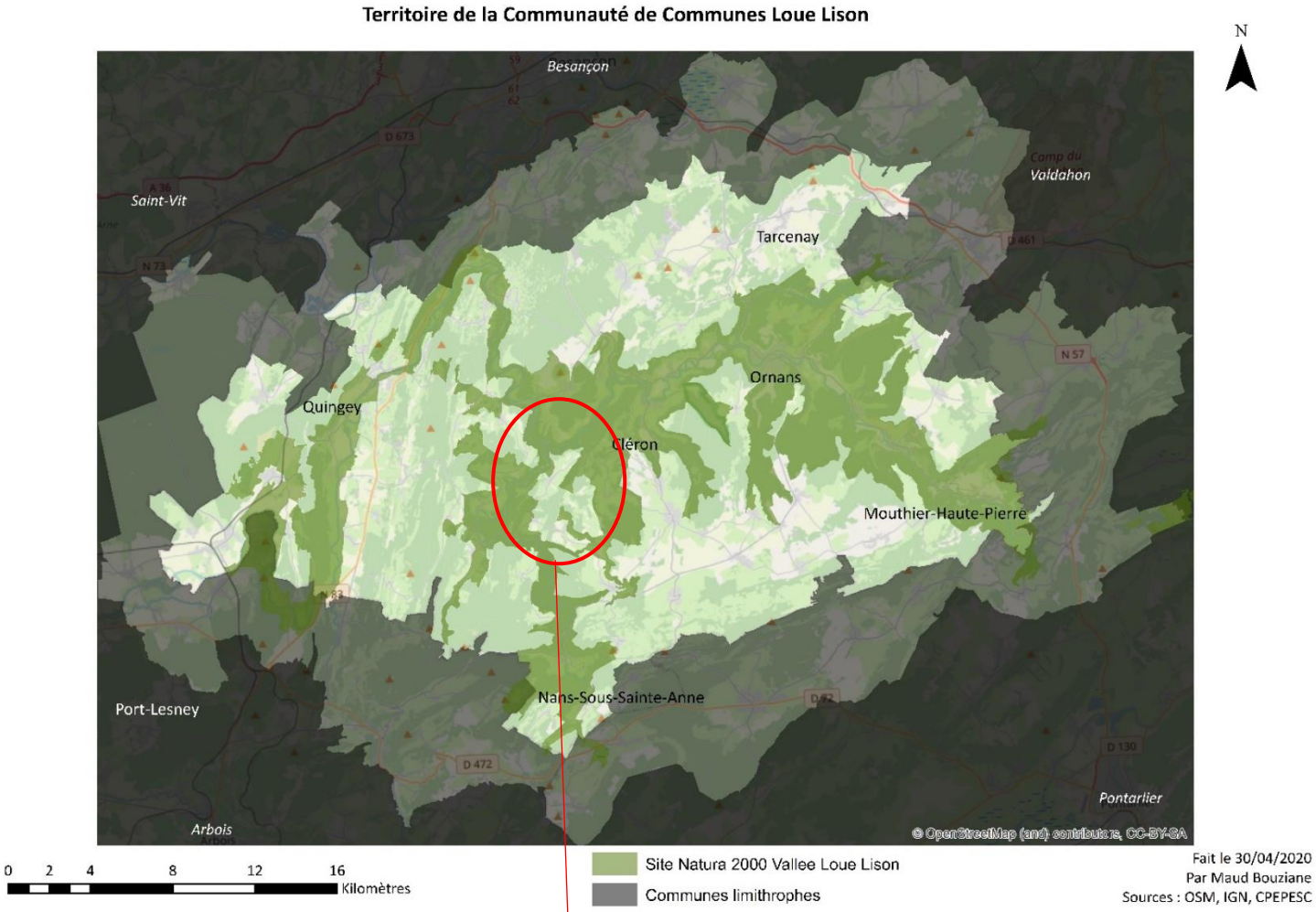
Avec la présence d'un site Natura 2000 qui couvre 1/3 du territoire, la volonté de préserver les entités paysagères et de restaurer les continuités écologiques est une préoccupation majeure. Ce site est important en raison de la diversité des habitats naturels. Cette richesse permet à ce territoire d'avoir 18 grands types d'habitats naturels d'intérêt communautaire dont 6 prioritaires.

Le territoire Loue Lison propose une multitude de valeurs paysagères propices à la biodiversité. Avec la présence de deux sources (le Loue et le Lison), des vallées et vallons ont pris forme et offrent à ce territoire une diversité d'éléments. Avec 90 % de prairie et de forêt et avec une très faible densité d'habitat, le territoire est propice à l'accueil de plusieurs espèces et leur permet un bon déplacement au sein de cet espace.

Constitué de 72 communes, l'étude prendra aussi en compte les communes limitrophes, pour une meilleure cohérence écologique, car les espèces ne s'arrêtent pas aux limites administratives (*Carte 1 : Territoire de la Communauté de Communes Loue Lison)*.

Comprenant une richesse importante de chiroptères sur le territoire et avec une prédominance d'espaces « naturels » due à une densité d'habitats bien inférieure à la moyenne française (37 hab/km²), il est intéressant d'étudier la trame noire de ce territoire. Cette étude pourra permettre la sauvegarde d'éléments atypiques de ce site à conserver.

La présence d'un bâti ancien sur le territoire permet des gîtes pour les espèces *(Figu: Exemple de vieux bâtis sur le territoire Loue Lison)* certaines petites communes offrent un réel sanctuaire pour les espèces étudiées. Le territoire Loue Lison est un territoire rural où la sauvegarde du patrimoine historique est à respecter. Cependant la sauvegarde des êtres vivants qui l'occupent est aussi primordiale dans l'aménagement du paysage.



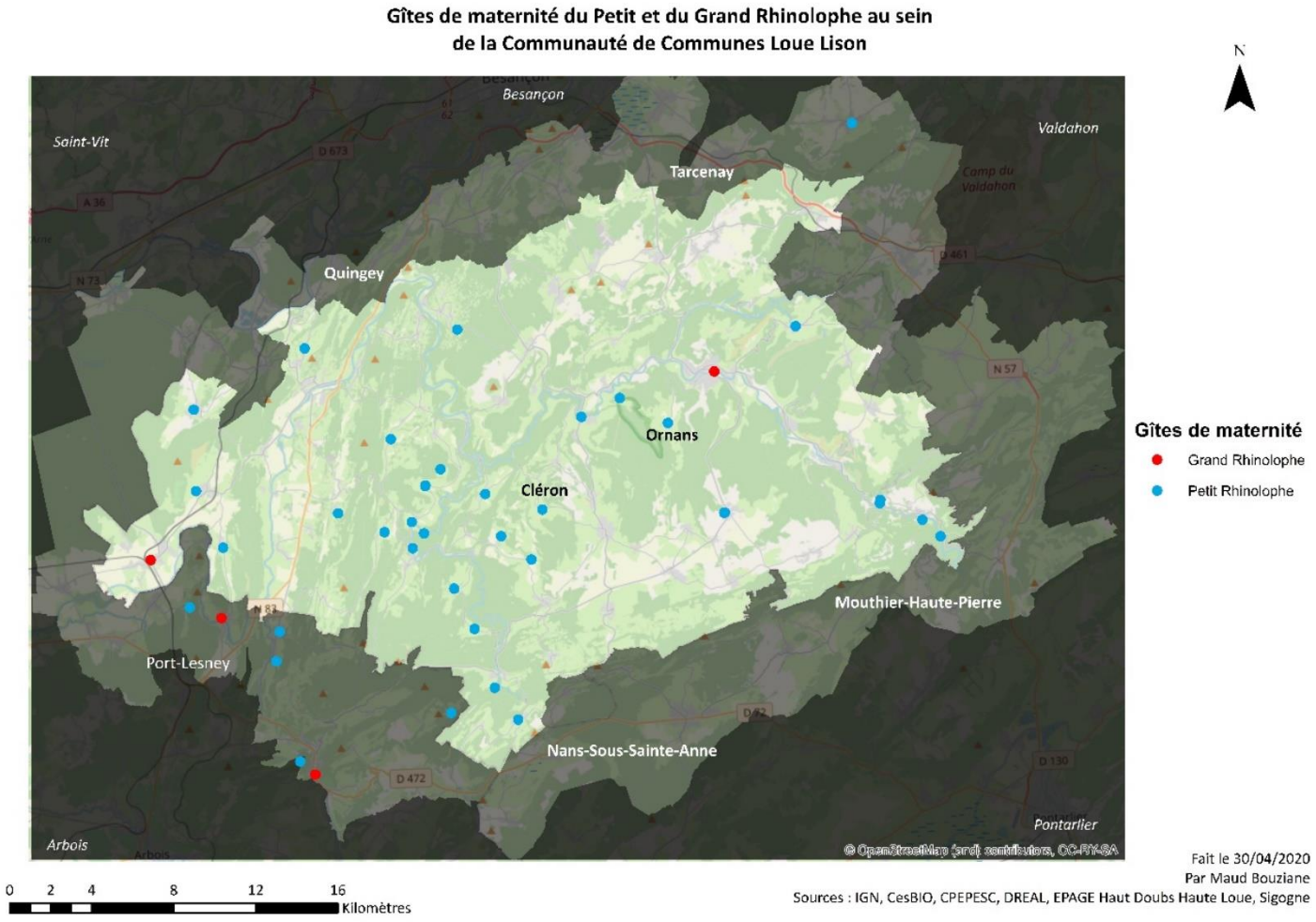
Carte 1 : Territoire de la Communauté de Communes Loue Lison



Figure 8 : Exemple de vieux bâtis sur le territoire Loue Lison

2.2. La présence du Petit et Grand Rhinolophe sur le territoire Loue Lison

La Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères de Franche-Comté (CPEPESC) est une association qui réalise des études de terrain. Sur la zone d'étude, la présence de ces deux espèces est irréfutable et la localisation des gîtes est connue, une précision importante pour la modélisation de la trame noire. Pour des raisons de protection de ses espèces, les données strictes de géolocalisation ne peuvent pas être diffusées. En revanche voici une carte montrant la présence des espèces (Carte 2 *: Gîtes d'été de Rhinolophus Hipposideros et Rhinolophus Ferrumequinum).*

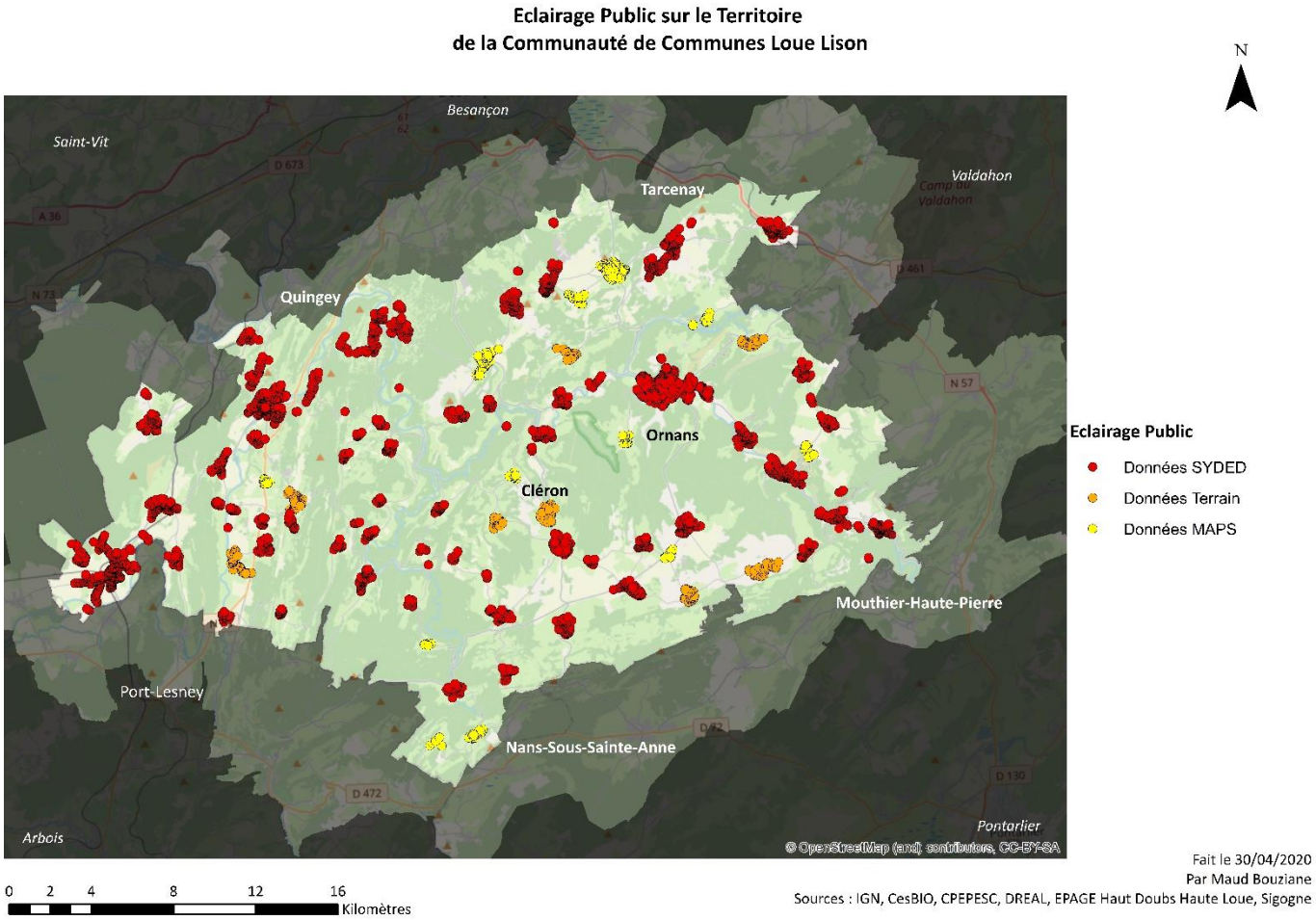


Carte 2 : Gîtes d'été de Rhinolophus Hipposideros et Rhinolophus Ferrumequinum

2.3. La perturbation lumineuse

2.3.1. La localisation des sources lumineuses

Par suite du syndicat d'énergie du Doubs (SYDED), les données de géolocalisation des lampadaires ont pu être transmises sur la plupart des communes du territoire. Au format DWG, les données brutes du système d'éclairage public ont été nettoyées pour avoir une base de données comprenant uniquement le lampadaire et ses spécificités (type d'ampoules, puissance, et orientation). Une sortie terrain a été également réalisée pour géolocaliser les lampadaires sur quelques communes manquantes. Cette démarche prend énormément de temps donc en ce qui concerne le reste des communes en particulier les communes limitrophes, la plupart des lampadaires ont été localisés à l'aide de google Street Map ainsi que des images satellites. D'autres sorties terrain afin de géolocalisées les lampadaires seraient la solution pour avoir une plus grande précision de le l'étude. (*Carte 3 : Localisation des lampadaires).*



Carte 3 : Localisation des lampadaires

2.3.2. Modélisation de l'éclairage artificiel

Pour la plupart des communes du territoires, le type d'ampoule et la puissance ont été attribués aux lampadaires. Grâce au logiciel DIALUX evo, qui permet de créer des projets d'éclairage, la scénarisation d'un éclairage de rue est possible.

En paramétrant les données attribuées aux lampadaires, nous pouvons voir se dessiner des lignes isotropes représentant les différents niveaux d'éclairage en lux (*figure 9 : Courbes Isotropes, DIALUX)*. La manipulation est faite pour chaque type d'ampoule et chaque type de puissance.

Figure 9 : Courbes Isotropes, DIALUX

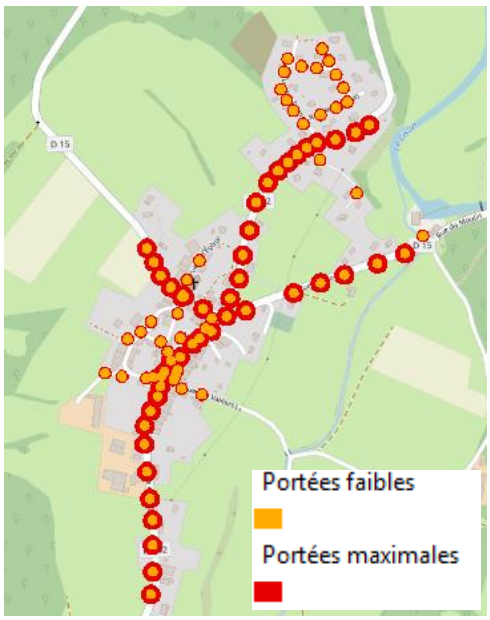


D'après une étude d'Emma Stone (2012), les Petits rhinolophes, ne dépassent pas les 3,2 lux, la portée des lampadaires est mesurable et peut être affectée pour chaque point lumineux identique. Cette première analyse sera un premier scénario de la modélisation de l'éclairage artificiel.

Cette même étude montre une portée maximale des lampadaires LED différente en fonction de l'intensité et avec un espacement de 30 mètres entre les points lumineux. En prenant une intensité moyenne de 15 lux (éclairage public des routes conformes), un deuxième scénario est possible, la distance attribuée au point lumineux sera alors la portée maximale de celui-ci (*Figure 10 : Exemple sur la commune de Myon)*.

Une autre carte de la pollution lumineuse montrant une source d'éclairage artificielle énormément impactante a également été créée. Un scénario extrême permettant d'analyser le réseau écologique des Rhinolophes si la source d'éclairage artificielle était très importante. Pour cela, le choix est de créer une distance de 25 m autour des taches bâtis, cette distance est la portée maximale à laquelle un lampadaire émet de la lumière (Azam et al. 2018). La source de lumière représente les taches bâtis denses avec une distance de 25 m autour d'elles.

Scénario 1 et 2



Scénario 3

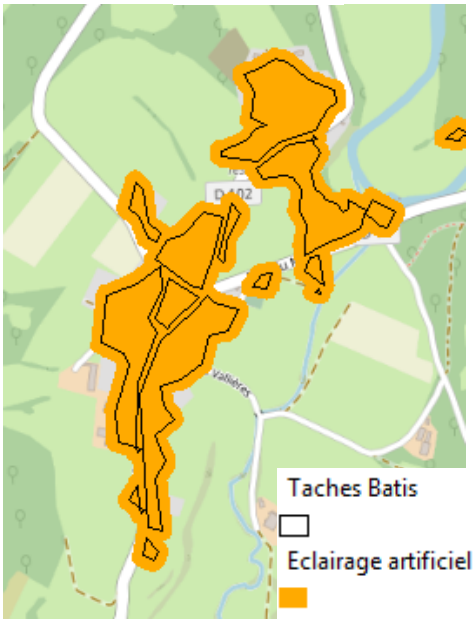


Figure 10: Exemple sur la commune de Myon

2.4. Construction d'un modèle d'occupation du sol

La prise en compte les éléments du paysage dans la représentation du réseau écologique des Rhinolophes est l'élément crucial à l'étude. Il faut créer un modèle d'occupation du sol qui sera utilisé par la suite dans la modélisation. Il se fonde sur les préférences paysagères mais également sur les éléments défavorables aux déplacements, appelés « barrières », afin que le graphe paysager puisse être au plus proche de la réalité. La carte d'occupation du sol doit présenter les différents milieux de vie de l'espèce, qu'ils soient défavorables ou favorables aux déplacements (Girardet 2013 ; Sahraoui 2016). Le territoire est composé de plusieurs occupations du sol, il est important de les représenter pour des études conformes, ce modèle d'occupation représente alors le paysage.

2.4.1. Les données

L'étude des Trames vertes et bleues est aussi en cours sur le territoire de la Communauté de Communes Loue Lison. Afin d'être cohérent avec celle-ci, les différentes sources de données sont identiques. Les éléments spécifiques à nos espèces sont ajoutés aux données pour mener une étude trame noire.

Espaces ouverts : Comme dit précédemment, les Rhinolophes ne sont pas attirés par ces espaces, cependant, il est impératif de les prendre en compte dans la carte d'occupation du sol. Cette couche regroupera plusieurs éléments provenant de plusieurs sources de données, pour avoir une occupation du sol la plus représentative :

- Registre Parcellaire Graphique 2016 pour les cultures et prairies temporaires
- Pelouses d'EPAGE Haut Doubs Haute Loue
- Identification sur analyse des photos aériennes et vérification sur le terrain (Conservatoires d'Espaces Natures Franche Comté, s.d)

Forêts de conifères : Pour les Rhinolophes, les forêts de conifères ne sont pas des forêts attrayantes (Carlier et al. 2019). Les espèces vont plutôt éviter ces secteurs. C'est pourquoi il est important de les prendre en compte dans la modélisation. La source de donnée est la BD Forêt version 2 de l'IGN.

Bâti diffus : L'empreinte de l'homme est dans tous les cas impactante pour les espèces, mais le bâti diffus est différent du bâti dense. Des maisons isolées laissant place à la végétation, sont des espaces plus propices aux déplacements de nos espèces qu'un centre de bâtiments compacts. Les données du CESBIO 2017 ont été choisis pour cette occupation du sol.

Bâti dense : Les zones urbanisées sont des réelles barrières pour ces chiroptères dû à la présence de pollution lumineuse mais aussi par le manque d'éléments structurels tels que les haies. L**'**augmentation de la densité urbaine influence négativement l'activité des espèces (Hale et al. 2012 cités par Tournant 2013). Les taches de bâti dense ont été créées à partir de la couche BD TOPO 2011 par un effet de dilatation érosion sur le bâti.

Espaces favorables : Afin de faciliter la modélisation, la fusion de tous les éléments favorables aux déplacements de ces espèces est réalisée. Cette couche regroupera les éléments linéaires afin de préserver la connectivité structurelle (Hale et al. 2015)

- Haie de la BD TOPO IGN 2018, Inventaire haie du RGE 2018, inventaire de la Fédération Départemental de Chasse du Doubs et SNA 2018

- BD TOPO de l'IGN 2017 pour les vignes
- Carte d'occupation des sols CESBIO 2017 pour les vergers, les vignes et les bois
- Falaise rupestre montrant un APPB

Les lisières de forêts de feuillus sont des zones paysagères très importantes pour les espèces. La lisière constitue la zone transitoire entre deux milieux différents : une surface boisée et un milieu plus ouvert (Snoeck et Baar 2001). Les lisières ont une plus grande diversité d'espèces et une activité plus importante que les cœurs des taches de forêt (Carlier et al. 2019).

- **Construction lisières :** Zone tampon négative de 40 mètres (LSPN 14 1995) réalisée autour des forêts de feuillus et des forêts mixtes

Les cours d'eau permettent une route de vol pour ces deux espèces de chiroptères, les ripisylves sont alors des éléments très structurels. La présence de cette eau permet un bon déplacement, elle doit être ajoutée à la carte d'occupation du sol.

- **Constructions ripisylves :** Zone tampon de 10 mètres (distance de la résolution du raster) de chaque côté de la couche milieux aquatiques et humides afin de garder la végétation haute de chaque côté.

Routes : La hauteur de vol des espèces identifiée est généralement faible (INPN), c'est pourquoi, les routes sont dangereuses pour les déplacements des Rhinolophes. Avec des risques de collisions, elles présentent une menace (Kiefer et al. 1993, 1994/95, Haensel et al. 1996 cités par Karst et al. 2018).

- BDTOPO 2018
- Données de Trafics Moyens Journaliers Annuels (TMJA) (issues d'une modélisation) transmises par OPTEER
-

Milieux aquatiques et humides : La présence d'eau stagnante favorise les déplacements des espèces étudiées, pour sa végétation autour et également par sa structure linéaire qui représente une route de vol propice.

- Sources d'eau permanentes ainsi que les surfaces de BDTOPO et de la DDT
- Milieux humides identifiés par la DIREN
- Inventaires des milieux humides par le département du Doubs, du Jura et d'EPAGE Haut Doubs Haute Loue
-

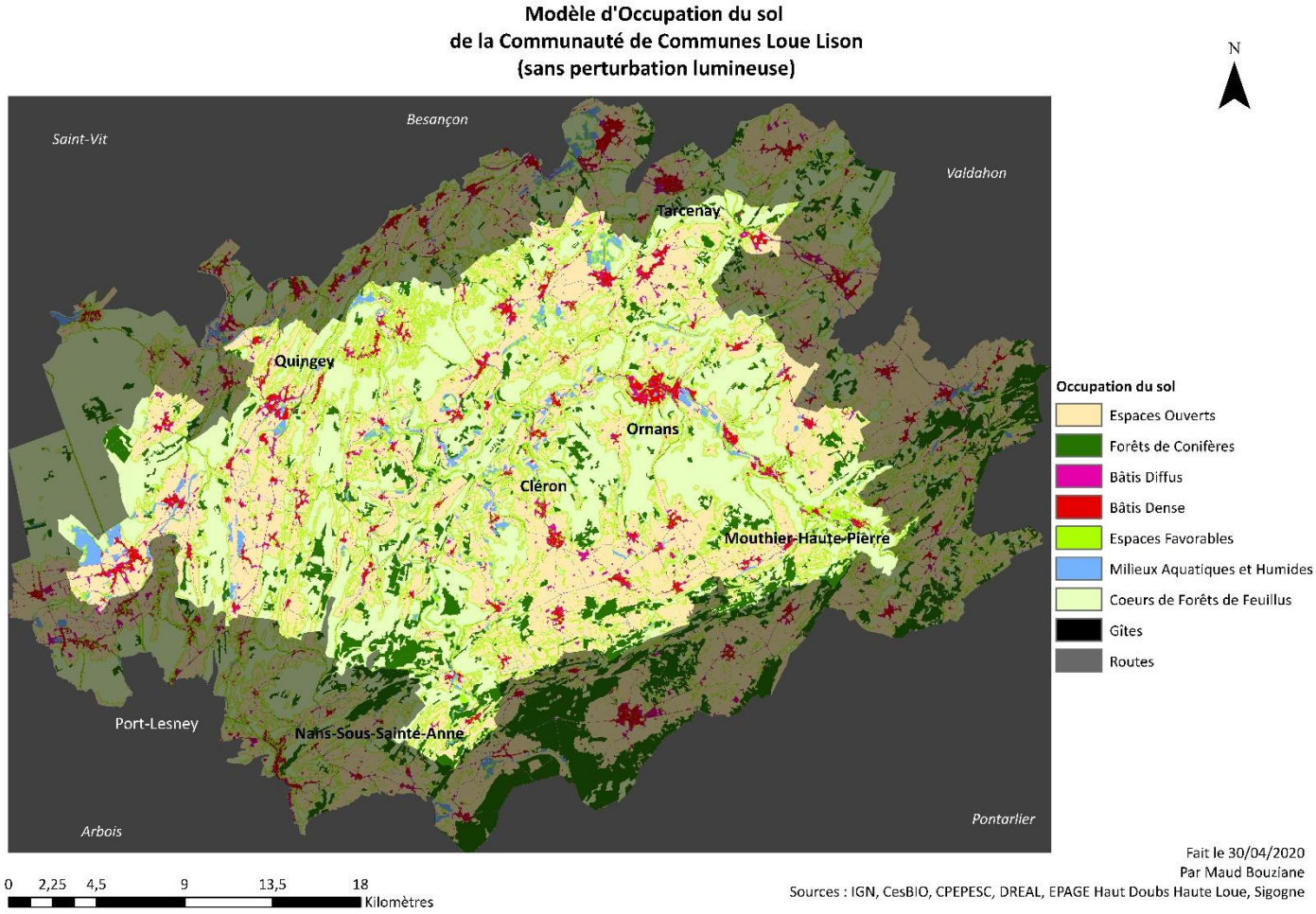
Cœurs de forêts de feuillus et mixte : La distinction des différentes forêts est indispensable à la modélisation du réseau écologique car elles ne sont pas favorisées par les Rhinolophes de la même façon. Une fois les lisières des forêts de feuillus et mixtes retirées, il reste les cœurs de forêt, qui ont un potentiel de présence plus faible que celle des lisières. Comme pour les forêts de conifères, les données proviennent de la BD FORET.

Gîtes de maternité : Sur ces couches, s'ajoutent les gîtes de maternités présentés précédemment.

2.4.2. La création de la carte d'occupation du sol

Une fois ces couches réalisées, leur superposition se fait de manière qu'aucune couche ne se chevauche et pour mettre en évidence les habitats soit les gîtes.
La superposition s'est faite dans l'ordre dont les couches ont été présentées au point 2.4.1. Cette carte comprend des classes d'occupation du sol : chaque valeur de pixel présente une occupation du sol.

Afin que la carte soit intégrable dans le logiciel Graphab (voir ci-dessous), cette carte sera au format raster. Différentes couches cartographiques sont fusionnées puis la carte est convertie en rastérisée avec une résolution de 10 mètres. Cette résolution est d'autant plus importante qu'elle représente l'échelle à laquelle les espèces peuvent se déplacer dans différentes unités paysagères. Plus l'échelle sera fine et plus le modèle représentera la réalité. Ici la résolution de 10 m est attribuée, certes pas aussi fine que la réalité, mais elle permet toutefois une bonne vision du réseau écologique de nos espèces *(Carte 4 : Modèle d'Occupation du Sol).*



Carte 4 : Modèle d'Occupation du Sol

2.4.3. Plusieurs Modèle d'Occupation du Sol pour plusieurs scénarios

Jusqu'ici le modèle d'occupation du sol ne prend pas en compte la barrière immatérielle de la perturbation lumineuse, l'analyse effectuée sur cette carte sera une analyse témoin sans l'effet causé par la lumière.

Les trois types de représentation de l'éclairage public évoqués précédemment ont été modélisés ; avec un impact lumineux révélant d'une limite de 3 lux ; un autre représentant la portée maximum des lampadaires ; un dernier montrant un éclairage artificiel très important.

Ces différentes représentations de la pollution lumineuse sont ajoutées au MOS témoin, nous avons 4 cartes d'occupation du sol (*annexe : 1, 2 et 3*) avec un impact plus ou moins important de l'éclairage artificiel :

- MOS sans pollution lumineuse
- MOS avec une pollution lumineuse faible (limite des 3 Lux)
- MOS avec pollution lumineuse moyenne (portée maximum de chaque lampadaire)
- MOS avec pollution lumineuse forte (taches bâties + 25 m autour)

2.5. Création du graphe

Le but de l'analyse est de mesurer la connectivité paysagère de ces deux espèces de Rhinolophes, les graphes paysagers sont de plus en plus employés pour pouvoir la visualiser (Urban et al. 2009). Comme pour la trame verte et bleue, la trame noire présente des réservoirs de biodiversité et des flux potentiels de déplacements entre ceux-ci. Les graphes paysagers permettent de modéliser ce réseau écologique en représentant des taches d'habitats (des nœuds) et des liens entre ces taches (arcs) (*Figure 11 : Graphe paysager*).

Le graphe paysager permet de visualiser l'interaction entre les habitats, ici les gîtes de maternité. On peut voir se modéliser les réseaux écologiques et la connectivité paysagère. A l'aide du logiciel Graphab, la mise en œuvre du graphe paysager est possible, et comporte 3 étapes :

- La définition de la carte d'occupation du sol (carte de paysage)
- La construction du graphe représentant le réseau écologique
- Le calcul de métriques de connectivité

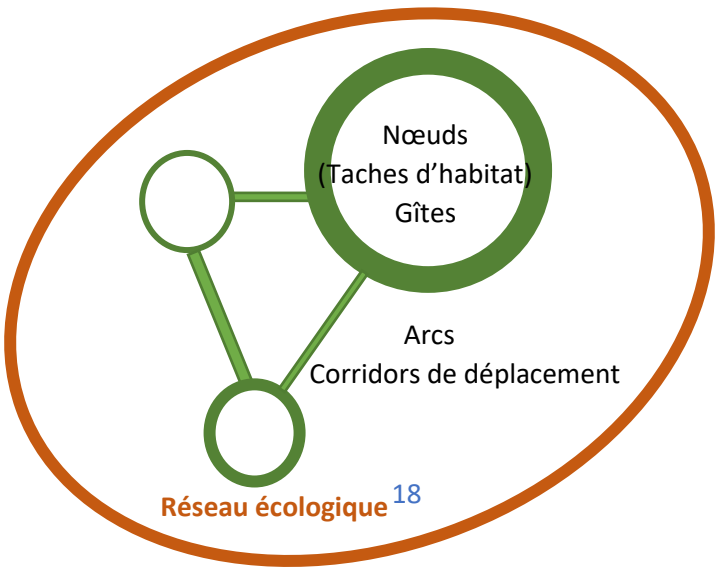


Figure 11: Graphe paysager

2.5.1. Définition de la carte d'occupation du sol

Comme vu précédemment, la construction d'un modèle d'occupation du sol est indispensable à l'analyse. En effet, les espèces ne se déplacent pas de la même façon suivant le type d'occupation du sol, une hiérarchisation doit se mettre en place. Les premiers choix à effectuer sont ceux des pondérations des classes d'occupation, les références bibliographiques permettent de mentionner les éléments qui seront propices aux déplacements. Plus le type d'occupation du sol aura une valeur faible, plus les individus vont emprunter ce parcours, à l'inverse plus ce seront des coûts forts attribués, plus ceux-ci vont éviter ces passages sur leur trajectoire. Ces coûts sont définis sur une échelle logarithmique et traduisent la perméabilité des milieux pour le déplacement des individus (*Figure 12 : Pondérations des classes d'occupation du sol)*.

TRES FAVORABLE : 1	**FAVORABLE : 10**	**DEFAVORABLE : 100**	**TRES DÉFAVORABLE : 1000**
Gîtes (habitat) Espaces favorables	Milieux aquatiques et humides	Cœurs de forêts Bâtis diffus Espaces ouverts	Bâti dense Forêts de conifères

Figure 12 : Pondérations des classes d'occupation du sol

En ce qui concerne le réseau routier, les routes n'ont pas le même impact sur la fragmentation du paysage suivant leur trafic (Gurrutxaga et al. 2010). Les valeurs attribuées aux routes sont suivies par la discrétisation que propose Gurrutxaga en 2010. Pour 1000 véhicules/jour, la valeur associée est de 100 ; 300 entre 1000 et 5000 véhicules/jour ; 700 entre 5000 et 10000 véhicules/jour, 800 entre 100000 et 20000 véhicules/jour et 1000 pour plus de 200000 véhicules/jour. Comme l'explique Marc Bourgeois en 2015 dans sa thèse « Impacts écologiques des formes d'urbanisation : modélisations urbaines et paysagères », cette précision n'est pas justifiée sur le plan écologique mais permet de prendre en compte les variations du trafic.

Cette hiérarchisation des espaces donne suite à un calcul de chemins de moindre coût (*figure 13: Chemin de moindre coût*) entre deux taches pour mieux correspondre à la réalité (Rayfield et al. 2010 ; Verbeylen et al. 2003 cités par Bourgeois 2010). Suivant l'occupation du sol, les espèces vont privilégier certaines trajectoires, celles-ci auront un coût le plus faible possible.

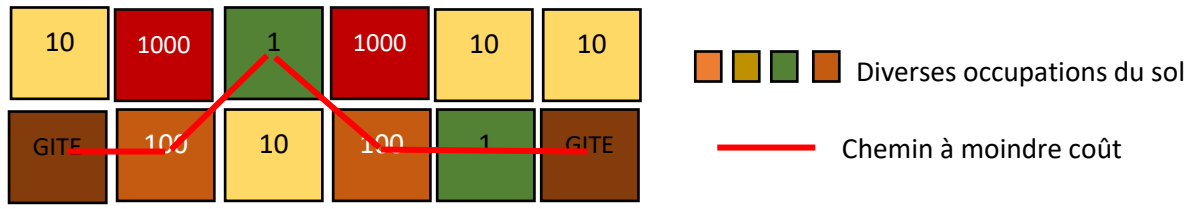


Figure 13 : Chemin de moindre coût

Pour prendre en compte la pollution lumineuse dans le modèle, elle est intégrée dans la carte d'occupation du sol et son emprise dépend du scénario étudié. Dans notre étude, la pollution lumineuse est la classe la plus défavorable, un coût de 10000 lui est attribuée. Ainsi, à la construction des chemins de moindre coût, le modèle prendra en compte la présence de ces espaces soit en les évitant, soit dans le cumul de la distance.

2.5.2. Construction du graphe représentant le réseau écologique

Ici, les nœuds du graphe sont les gîtes, le potentiel de capacité d'accueil des individus change en fonction des éléments favorables de son environnement proche. Il est important d'attribuer une capacité en harmonie avec le cycle de vie des espèces. Comme vu auparavant, les Rhinolophes ont une distance d'activité intensive de chasse de 600 mètres autour du gîte. Cette distance sera affectée à la capacité des gîtes. Plus la capacité est élevée plus la tache est considérée comme ayant une bonne qualité de gîte. La tache en elle-même est importante pour sa localisation même si sa taille n'a pas d'influence, car son environnement est déterminant.

Pour commencer la modélisation, la création d'un jeu de lien est définie par l'utilisateur suivant l'application voulue. Deux types de liens sont possibles, en topologie planaire, le graphe va représenter les liens potentiels aux déplacements des espèces. Avec cette topologie, la création de corridors est possible en représentant pour une distance donnée maximale (ici 5000 mètres converti en unités de coût), l'espace qui peut être traversé entre deux taches ayant une distance inférieure à la distance max. En topologie complète, le graphe va prendre en compte le plus tous les chemins entre les taches. Le choix de jeu de lien complet est privilégié pour permettre une visualisation générale des chemins possibles. Afin de prendre en compte l'occupation du sol, une valeur correspondant à la résistance des différents types d'occupation est cumulée pour chaque lien du jeu de lien. Pour cette étude cette distance représentera la distance maximale de dispersion des Rhinolophes soit 5000 mètres. Il faut convertir cette distance euclidienne en unités coût.

Dans le but de réaliser des analyses, des graphes ont été créé à partir des jeux de lien. Dans le cas de calcul des métriques (voir ci-dessous), le graphe est élagué suivant la dispersion maximum des espèces pour ne représenter que les liens entre les taches possibles. Dans les autres analyses, le choix a été de garder tous les liens. Pour rappel, ici, l'analyse est basée sur la représentation des déplacements possibles et non les déplacements entre les gîtes. C'est pourquoi la prise en compte d'un nombre maximal de trajectoires possibles est intéressante. L'importance est de représenter le réseau écologique de l'espèce est de visualiser la fragmentation du réseau et les corridors de celui-ci.

2.5.3. Calcul de métriques de connectivité

Le graphe est le support de calcul de métriques de connectivité (Clauzel et al. 2017). Ces différentes métriques vont permettre un diagnostic du territoire intégrant les éléments étudiés auparavant. Les calculs sont possibles à plusieurs échelles, que ce soit sur un graphe entier, ou en ciblant les liens ou nœuds (Galpern et al., 2011). Dans cette analyse, les métriques sont calculées en intégrant la pondération des liens, des nœuds et la capacité des taches.

Trois types d'analyses sont présentées, l'analyse globale, l'analyse locale et une analyse montrant une hiérarchisation :

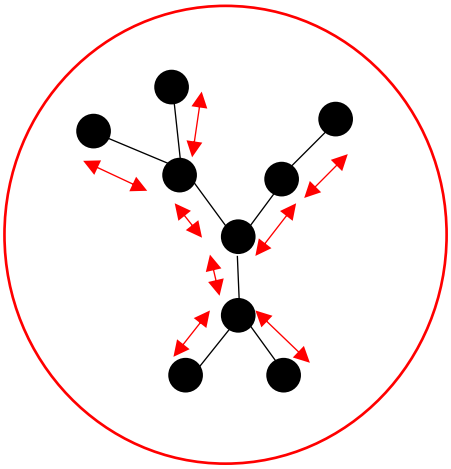
La première métrique calculée est celle de la connectivité équivalente (EC) (*Figure 14 : Métrique global EC),* c'est une métrique pondérée, car elle prend en compte la capacité des taches mais aussi la distance entre les taches. Le calcul se fait à un niveau global pour quantifier la connectivité à l'échelle du graphe entier. La probabilité (p) de déplacement de l'espèce entre les taches est maximale donc sa valeur est de 5 %. Voici sa formule :

$$EC = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i a_j e^{-\alpha d_{ij}}}$$

$P = e^{-\alpha d_{ij}}$: Probabilité de déplacement entre les taches i et j (ici = 0.05)

a_i : Capacité de la tache i

a_j : Capacité de la tache j



Ici, toutes les capacités des taches sont prises en compte par leur interaction. Tout le réseau est analysé afin de nous donner la connectivité équivalente globale du réseau.

Figure 14 : Métrique global EC

La deuxième métrique calculée est la métrique de centralité intermédiaire (Figure *15 : Métrique locale BC)*, elle va représenter les flux potentiels d'individus traversants les liens et les taches d'habitat. Pour cette métrique locale, la distance de 5000 m (distance maximale de déplacement) est appliquée dans le calcul (converti en unités de coût). Cette métrique permet d'évaluer le flux potentiel d'individus traversant les taches et les liens, plus sa valeur sera élevée plus l'élément aura une position centrale dans le réseau.

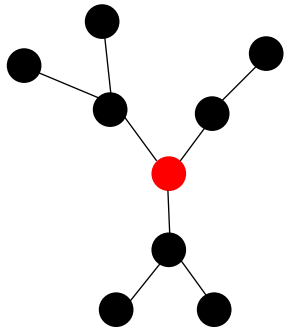
$$BC_i = \sum_{j}\sum_{k} a_j^{\beta} a_k^{\beta} e^{-\alpha d_{jk}}$$

β : Exposant permettant de pondérer la capacité (ici = 1)

$p = e^{-\alpha djk}$: Probabilité de déplacement entre les taches i et j (ici = 0.05)

a_k : Capacité de la tache k

a_j : Capacité de la tache j



Ici, on peut voir que le nœud rouge a une position centrale dans le réseau car elle connecte les différents sous réseau. Le passage par cette tache est indispensable pour pouvoir circuler dans le réseau. Sa valeur sera alors la plus élevée de toute.

Figure 15 : Métrique locale BC

Cette formule prend en compte la somme des chemins les plus courts qui passent par la tache d'habitat, ceux-ci sont pondérés par les capacités des taches reliées ainsi que par leur probabilité d'interaction.

La troisième métrique calculée, est une métrique de hiérarchisation (*Figure 16 : Delta-Métrique EC)*. Cette fois ci la connectivité équivalente est calculée en retirant chaque tache du graphe, une à une, pour permettre de calculer la perte de connectivité si une tache d'habitat était retirée. Chaque gîte et chaque corridor de déplacement n'ont pas le même impact sur le réseau écologique, cette méthode permet de les hiérarchiser en fonction de leur importance sur la connectivité du réseau.

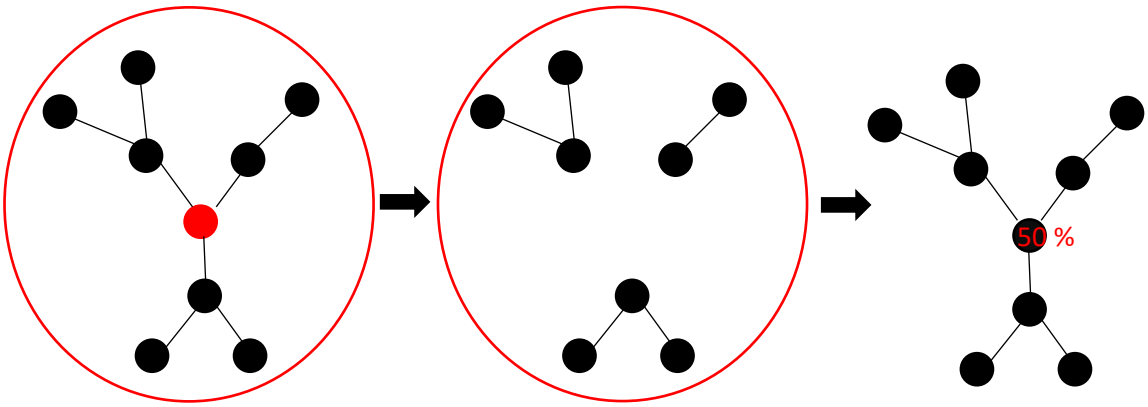


Figure 16 : Delta-Métrique EC

Cette métrique montre l'importance des liens ou des nœuds en représentant leur connectivité à l'échelle locale. Si un nœud présente 50% de variation, cela veut dire que sans cette tache, la connectivité serait diminuée de moitié et donc présenterait une perturbation majeure aux déplacements des espèces.

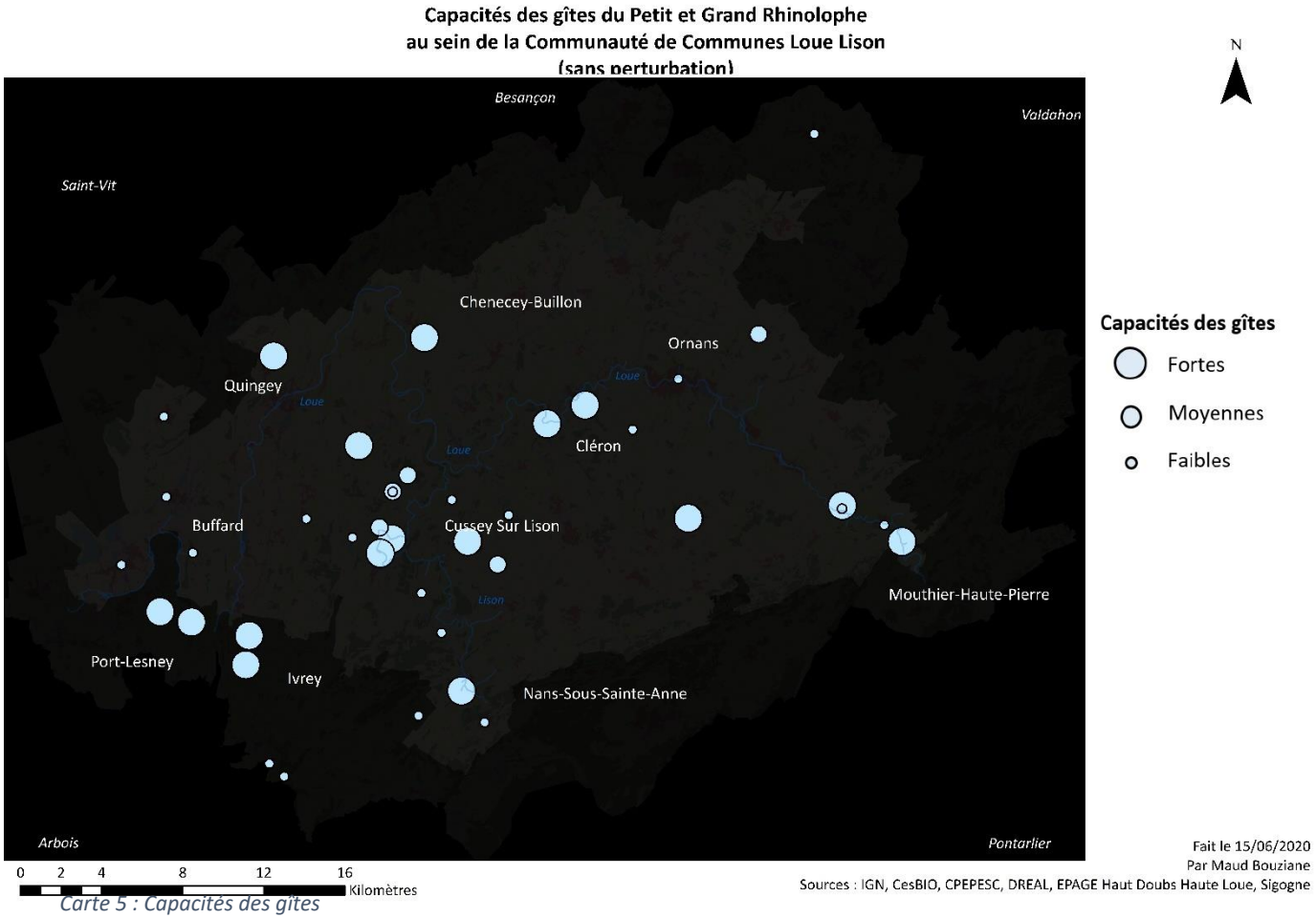
3. Résultats

3.1. Un réseau écologique touché par la perturbation lumineuse

3.1.1. Des gîtes menacés par la barrière lumineuse

3.1.1.1. Modèle témoin

Comme base, il est important de pouvoir visualiser le réseau écologique sans perturbation lumineuse, pour montrer l'impact que celle-ci peut avoir. La surface d'environnement favorable autour des gîtes est primordiale au bon fonctionnement du cycle de vie des espèces. Dans un premier temps, il est intéressant d'analyser les gîtes sur le territoire qui présentent plus ou moins la capacité d'accueil des espèces. La première carte (*Carte 5 : Capacités des gîtes*) présente la capacité de chaque gîte du territoire afin de cibler les gîtes clés du réseau écologique des Rhinolophes.



Carte 5 : Capacités des gîtes

On peut voir apparaître une hétérogénéité des capacités des gîtes sur le territoire. Au Sud-Ouest, on distingue 4 gîtes qui montrent une forte densité d'espaces favorables autour de 600 mètres, pour rappel, cette distance est le rayon d'activité de chasse intensive des Rhinolophes. Au centre du territoire on peut voir également un ensemble de fortes capacités d'accueil de gîtes. Au Sud Est, on remarque 2 gîtes qui ont pour environnement, une forte proportion d'espaces favorables. A l'Ouest et au Sud, on peut distinguer des gîtes présentant de faibles capacités d'accueil des espèces, ces gîtes n'auront pas le même poids dans la structure du réseau écologique qu'un gîte ayant une capacité d'accueil plus élevée.

En regardant ce qui se passe de plus près (*figure 17 : Espaces Favorables autour des gîtes*), voici la différence de densité d'espaces favorables autour d'un gîte proposant une faible capacitée d'accueil et un autre présentant une forte :



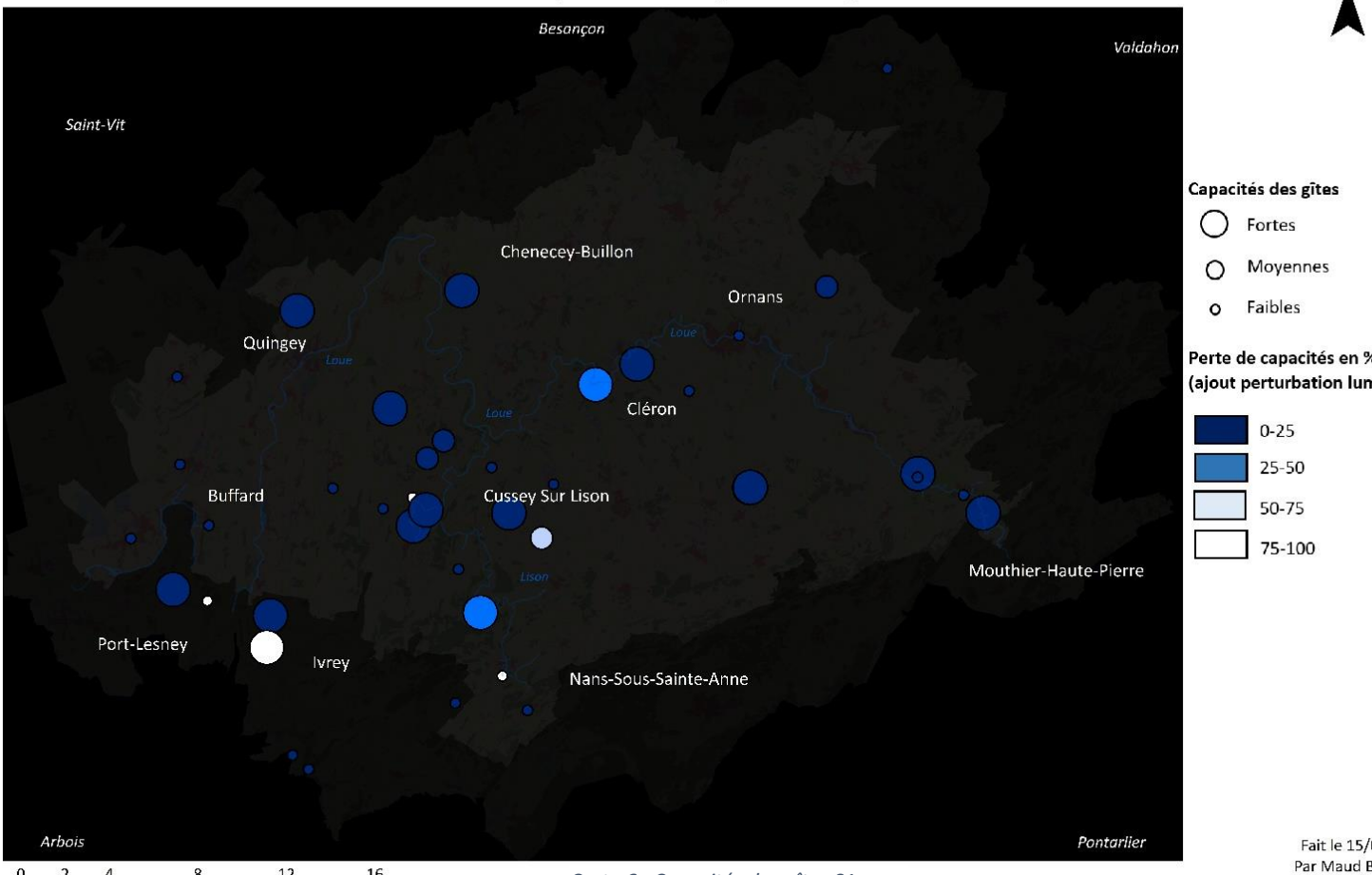
Figure 17 : Espaces Favorables autour des gîtes

Sur cet exemple, on remarque que le gîte de Cléron est plus entouré d'espaces favorables (en vert), contrairement au gite d'Arc et Senans où la proportion d'habitas favorables est beaucoup plus faible.

3.1.1.2. Scénario 1 et 2

En ajoutant une faible perturbation lumineuse, l'occupation du sol change et diminue la densité d'espaces favorables autour des gîtes. Un gîte pouvait présenter une forte capacité sans prendre en compte la perturbation lumineuse mais cette capacité peut varier en fonction de la perturbation insérée.

Capacités des gîtes du Petit et Grand Rhinolophe
au sein de la Communauté de Communes Loue Lison
(avec une faible perturbation)



Carte 6 : Capacités des gîtes S1

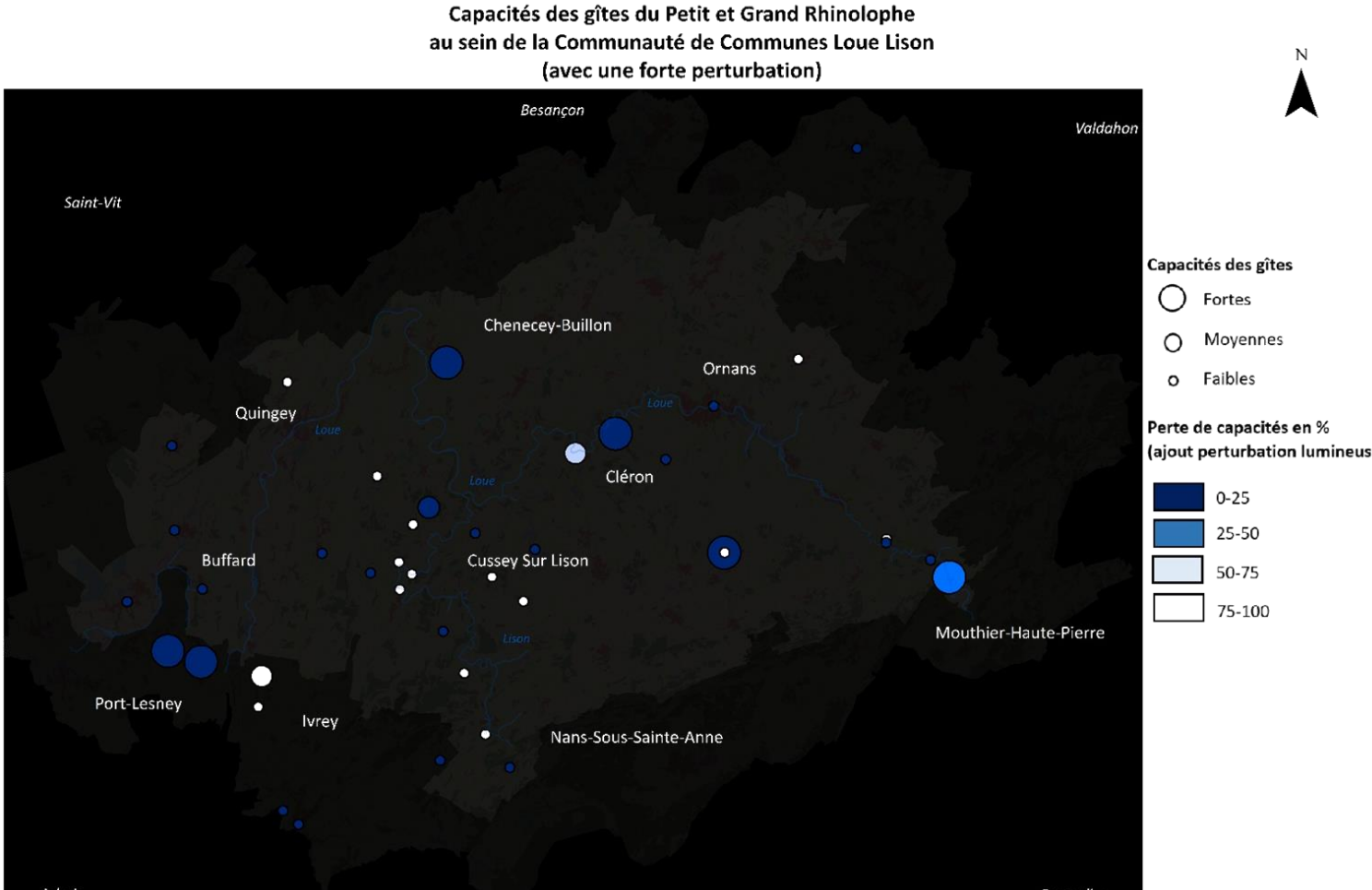
Fait le 15/06/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Sur cette carte (*carte 6 : Capacités des gîtes S1*), plus la couleur des nœuds est claire, plus la perte de capacité est importante, avec une perte de 100%, le gîte de la commune d'Echay est fortement impacté par la pollution lumineuse. Ce gîte avait une capacité moyenne dans le modèle témoin mais devient faible. Globalement les capacités restent, à quelques exceptions près, équivalentes. Les variations du scénario 2 sont très semblables à ce premier résultat (*annexe : 4*). Cela vient de la faible différence appliquée à la portée lumineuse des lampadaires entre les 2 scénarios pour modéliser la perturbation lumineuse.

3.1.1.3. Scénario 3

En ce qui concerne le scénario 3, où une forte perturbation lumineuse est insérée, les aptitudes d'accueil des gîtes sont largement perturbées. (*Carte 7 : Capacités des gîtes S3*)

En comparaison avec le modèle témoin, on peut voir une forte perte de capacité au centre du territoire autour de Cussey sur Lison. Alors que ce secteur présentait de fortes capacités d'accueil sans présence de perturbation lumineuse, ce taux diminue fortement quand la perturbation lumineuse est appliquée de manières importantes. Au Sud et à l'Ouest du territoire, la perturbation lumineuse diminue aussi fortement la capacité des gîtes.

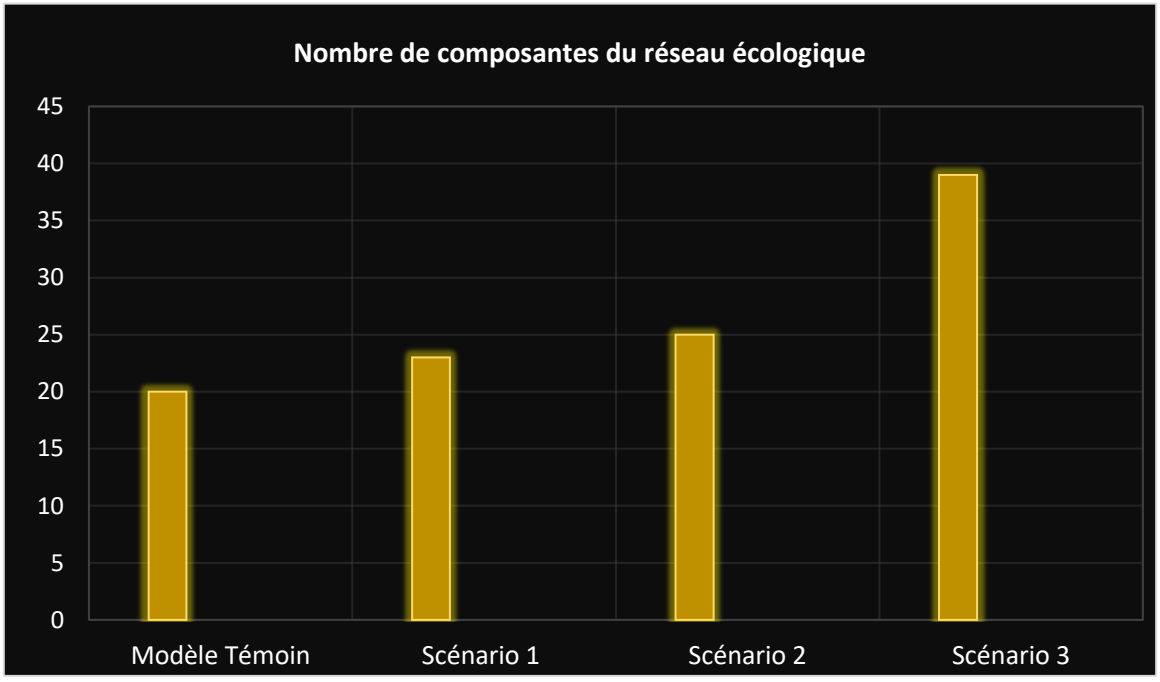


Carte 7 : Capacités des gîtes S3

3.1.2. Un réseau écologique fragmenté

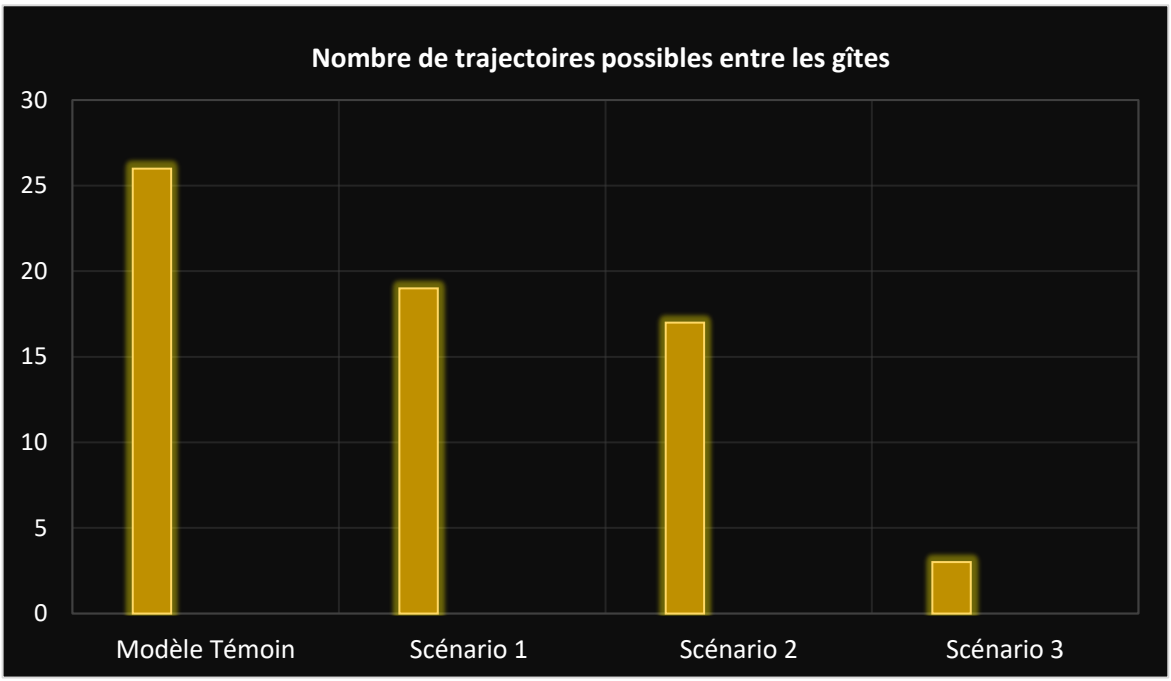
Pour analyser la fragmentation d'un réseau, l'outil des composantes du logiciel Graphab permets d'analyser le réseau écologique et grouper des espaces connectés. Sans pollution lumineuse, ce taux est de 20 composantes, moins le chiffre est grand plus le réseau est connecté, ce qui représente une faible fragmentation des habitats. Qu'en est-il de cette fragmentation quand l'on ajoute la barrière de la pollution lumineuse ?

En ajoutant, une faible pollution lumineuse (S1) les composantes sont de 23, en ajoutant une moyenne perturbation (S2), le nombre des composantes est égal à 25. Par comparaison avec le modèle témoin (TEM), les composantes du S1 et du S2 montrent une faible différenciation mais quand on ajoute une forte pollution lumineuse (S3), le réseau écologique se fragmente avec un nombre de 39 composantes. Le réseau est deux fois moins connecté avec une forte perturbation lumineuse. (*Graphique 1 : Nombre de composantes*)



Graphique 1 : Nombre de composantes

En ajoutant la barrière lumineuse, l'occupation du sol prend en compte une résistance aux déplacements plus élevée, le nombre de chemins possibles entre les gîtes diminue. Sans perturbation lumineuse, le nombre de liens entre les taches est alors plus important que le nombre de liens potentiels quand la barrière de la pollution lumineuse est prise en compte.

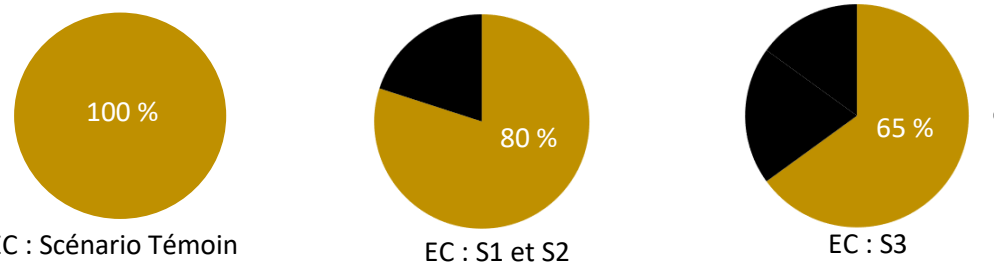


Graphique 2 : Nombre de trajectoires

D'après ce graphique (*Graphique 2 : Nombre de trajectoires*) , on peut voir que le nombre de chemins possibles dans le réseau écologique dans le S3 est au nombre de 3 contre 27 pour le modèle témoin qui ne présente pas de pollution lumineuse. On peut voir que les chemins potentiels se réduisent de 90%, la pollution lumineuse est représentée avec un coût de 10 000 et apporte une forte résistance aux déplacements des Rhinolophes.

Ces deux derniers graphiques montrent que la perturbation lumineuse impacte le réseau écologique, elle fragmente le réseau et donc diminue la connectivité de celui-ci. Afin de pousser ce diagnostic, la métrique de connectivité équivalente (EC) a pour but de calculer la connectivité globale du réseau. Sans pollution lumineuse, sa connectivité est égale à 26 800, nous prendrons cette valeur comme référence à un réseau avec une connectivité équivalente maximale. Pour avoir plus de précision, ce chiffre serait plus intéressant s'il avait été calculé avec un modèle sans aucuns éléments défavorables aux déplacements pour les Rhinolophes. Pour ne pas l'oublier, les infrastructures routières causent une mortalité importante chez les chiroptères.

En ajoutant la pollution lumineuse de manière faible ou moyenne (S1 et S2) la connectivité équivalente diminue de 20 % par rapport au modèle témoin. En ce qui concerne le S3 elle baisse près de 35 %. (*Graphique 3 : Variation de EC*)



Graphique 3 : : Variation de EC

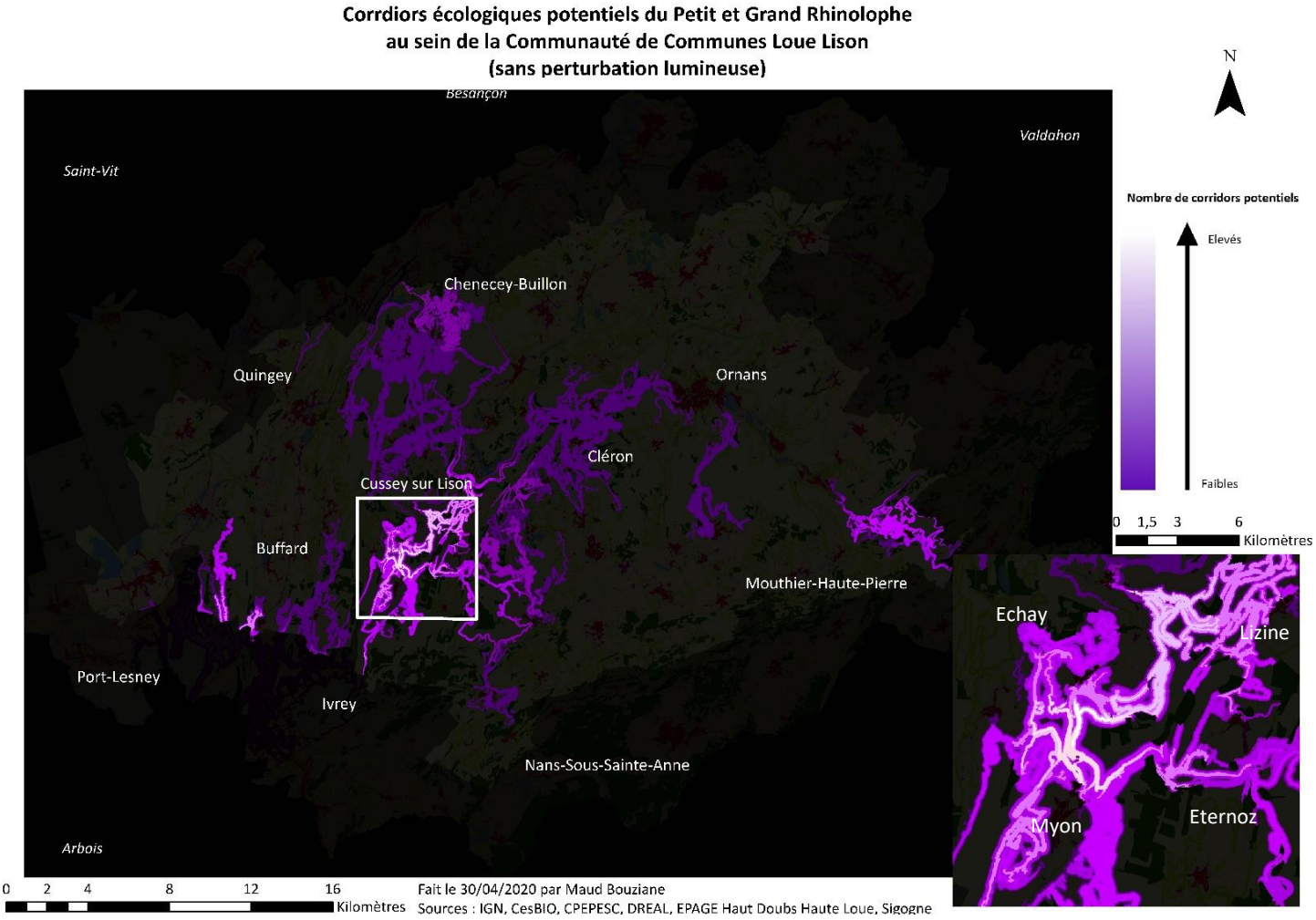
3.2. Analyser et mesurer l'impact de la perturbation lumineuse

La phase précédente nous montre que la perturbation lumineuse influe négativement sur la connectivité du réseau écologique. Maintenant, nous pouvons évaluer l'impact de la perturbation lumineuse en comparant les différents scénarios avec le modèle de référence qui est le modèle témoin.

3.2.1. Des corridors écologiques hétérogènes sur le territoire

3.1.2.1. Modèle témoin

Il est important de se baser sur un modèle qui ne prends pas en compte la perturbation lumineuse pour avoir un état initial du réseau écologique. Ici (*Carte 8 : Corridors écologiques _ Témoin*), les corridors écologiques potentiels ont été tracé pour pouvoir cibler les espaces qui regroupent un nombre de corridors potentiels élevés.



Carte 8 : Corridors écologiques _ Témoin

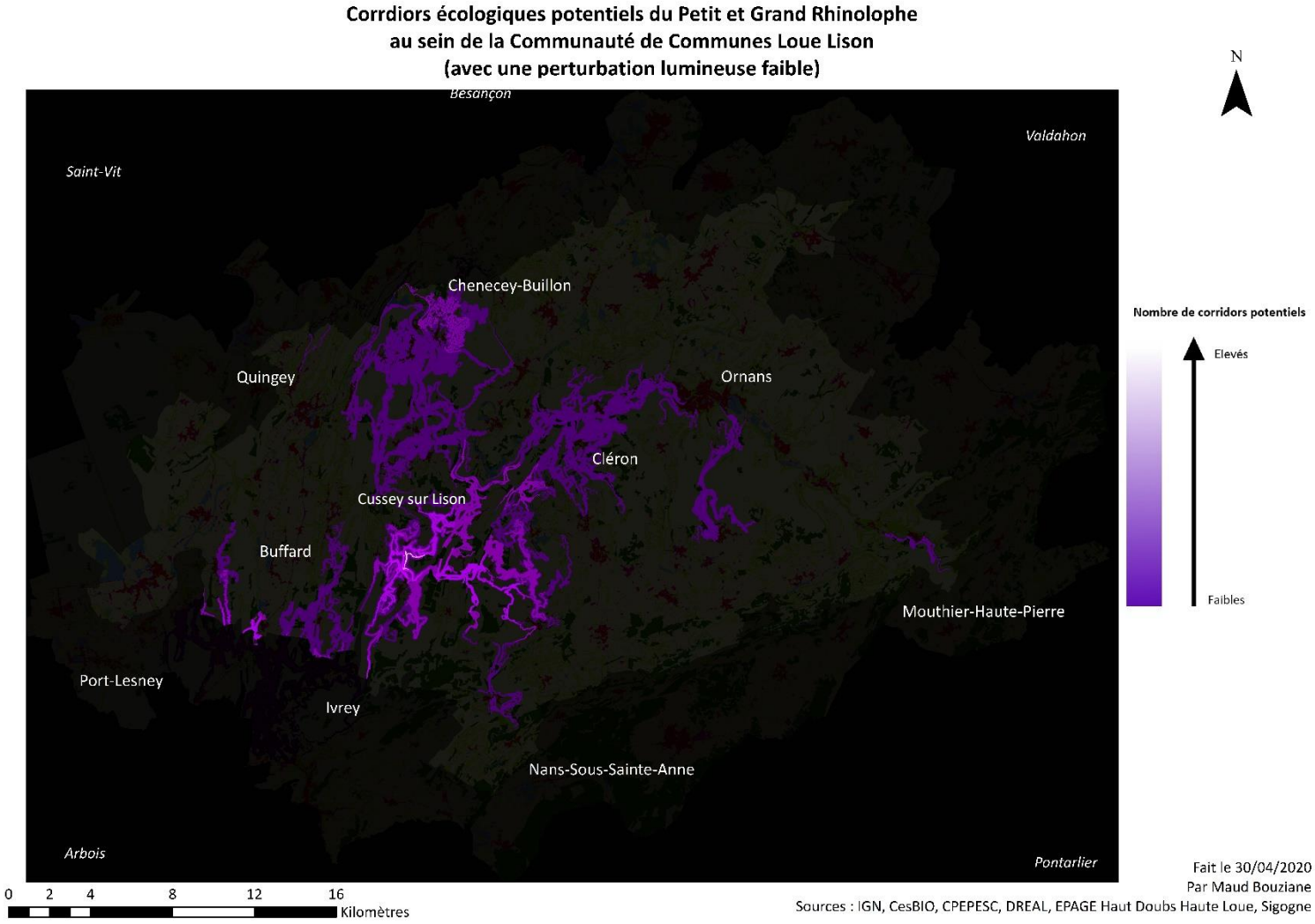
Les zones qui présentent des redondances élevées de parcours favorables aux déplacements sont ciblées sur le centre de la Communauté de Communes où l'on peut voir un réseau très présent quand on regarde sur le zoom. Les traits en blancs représentent des parcours potentiels les plus propices aux déplacements, la majorité de ces parcours passent donc par une occupation du sol d'habitats favorables (vert sur l'occupation du sol). On peut alors déterminer que cet endroit est important au réseau écologique. Ces corridors sont présents majoritairement dans le centre du

territoire, une part des corridors est également visible à l'Est de la Communauté de Communes où l'on peut distinguer un nombre de chemins potentiels relativement élevés. Cette carte amène l'idée de la fragmentation des corridors, une partie au centre et Sud-Ouest et une autre partie à l'Est.

3.1.2.2. Scénario 1 et 2

En ajoutant une faible perturbation lumineuse (*Carte 9 : Corridors écologiques _ S1)* nous pouvons voir que les potentiels corridors sont moins redondants. Globalement les corridors sont pour la plupart identiques au modèle témoin mais le nombre de chemins potentiels sont globalement plus faibles. Par exemple, au centre du territoire, là où le réseau présentait un nombre très élevé de chemins potentiels, le nombre s'est affaiblie et ne ressort pas distinctement du réseau dans sa globalité, alors qu'il était le centre dans l'analyse précédente. Cette remarque peut être affectée également pour le Sud-Ouest du territoire, au Sud de la commune de Buffard. Nous pouvons voir que dans la partie Sud Est, les corridors sont moins présents et montrent une fragilité de ce secteur. Nous pouvons distinguer que les corridors du territoire se séparent en deux parties, un ensemble au centre Ouest qui occupe une place majeure et une autre mineure à l'extrême Sud-Est de la Communauté de Communes.

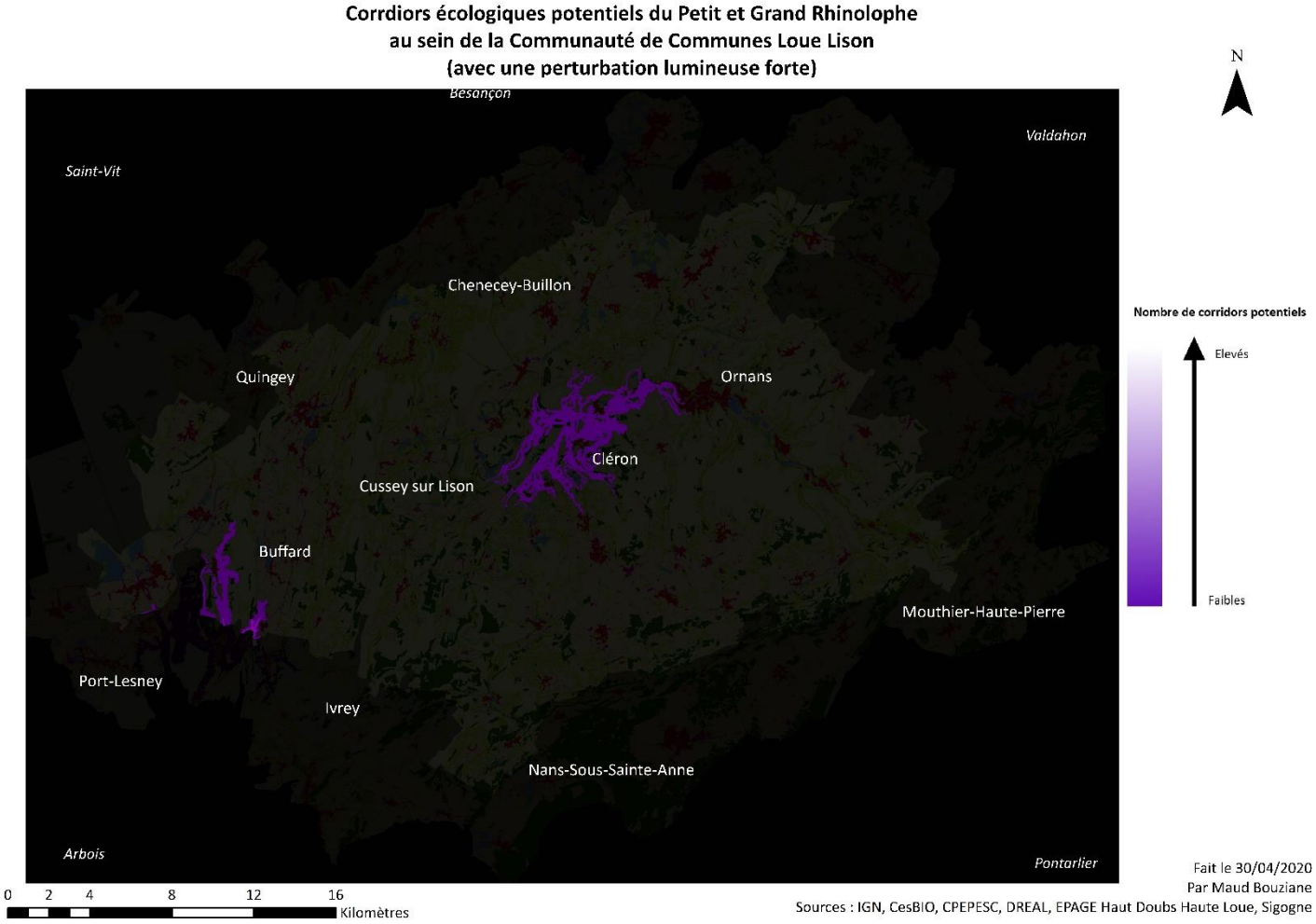
Ici, il est montré le résultat avec un faible perturbation lumineuse, mais le résultat montrant l'impact d'une moyenne perturbation lumineuse (S2) est équivalente (*annexe : 5*).



Carte 9 : Corridors écologiques _ S1

3.1.2.3. Scénario 3

Dans ce dernier scénario, la perte de corridors est nettement plus visible (*Carte 10 : Corridors écologiques _ S3*). Il ne reste plus que deux secteurs visibles, l'un autour de Cléron et l'autre au Sud de Buffard, de plus leur nombre de chemins potentiels est relativement faible. Ce sont donc les deux espaces les moins impactés par la pollution lumineuse. Tout le reste des corridors ont été trop touchés par celle-ci. La perte des déplacements potentiels des espèces est considérable.



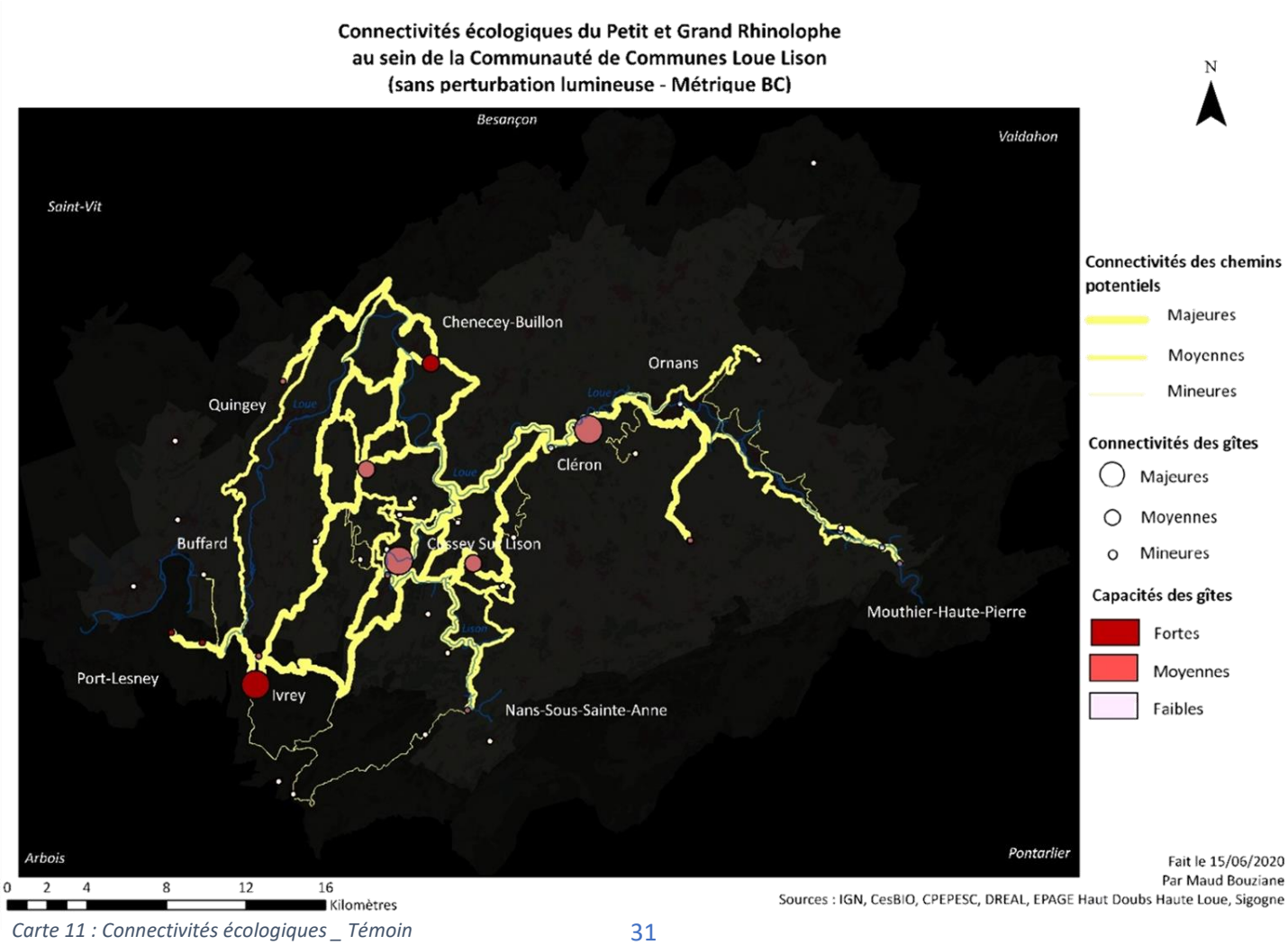
Carte 10 : Corridors écologiques _ S3

3.2.2. Des connectivités écologiques avec des flux d'espèces variables

Jusqu'ici nous avons vu le réseau des espèces sans apporter la notion des métriques, de mesures du réseau écologique. La métrique de centralité intermédiaire calcule les flux potentiels possibles entre les gîtes.

3.2.2.1. Modèle témoin

Plus les trajectoires sont épaisses plus leurs localisations sont importantes pour le réseau, de même pour les gîtes, plus le cercle sera gros, plus leurs positions seront centrales dans le réseau. Ici (*carte 11 : Connectivités écologiques _ Témoin carte*), sans perturbation lumineuse, nous pouvons voir des flux majeurs sur la partie Ouest du territoire. Autour de la commune de Cussey sur Lison, de fortes connectivités potentielles sont présentes, la partie Centre-Ouest du territoire peut représenter la centralité du réseau. Plus la capacité des gîtes est élevée plus les flux potentiels d'individus seront importants, ce qui entraîne la création de connectivités majeures. Nous pouvons voir une connectivité majeure se dessiner depuis Mouthier Haute Pierre pour rejoindre la place centrale du réseau. Sur cette trajectoire, on peut voir qu'elle suit minutieusement la Loue, cela est surement dû aux ripisylves qui structurent les routes de vol de nos espèces. On peut distinguer des gîtes retirés du réseau, dû à la trop grande distance avec les autres gîtes. Même si aucunes connectivités se sont dessinées entre les gîtes isolés et le reste du réseau, cela ne montre pas l'absence d'un réseau écologique de chiroptères. On peut déterminer un biais dans la modélisation, il faudrait augmenter la distance de dispersion pour permettre une plus grande vision des connectivités.



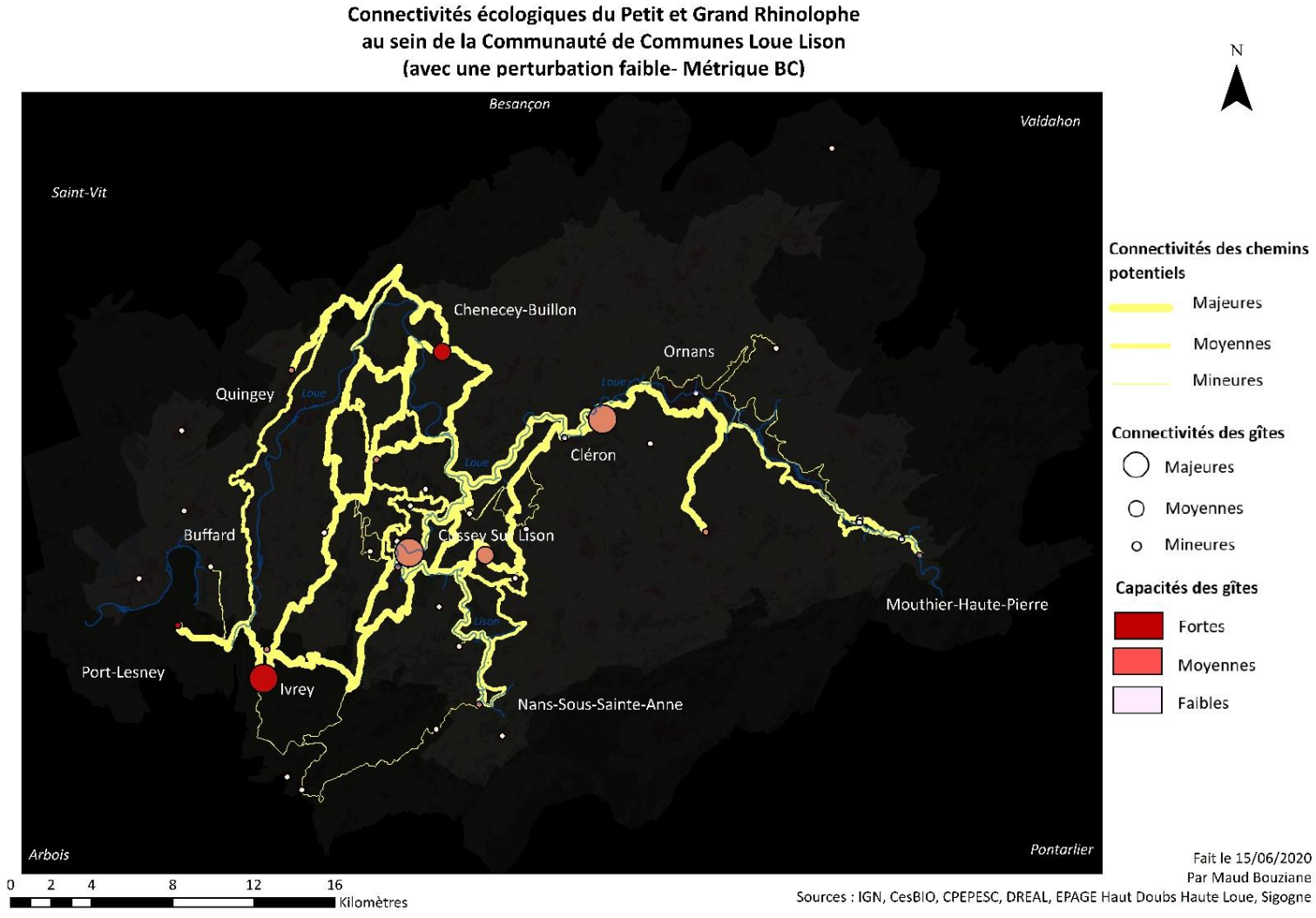
Carte 11 : Connectivités écologiques _ Témoin

3.2.2.2. Scénario 1 et 2

Par comparaison, quand une faible perturbation lumineuse est ajoutée au modèle d'occupation du sol, la structure globale du réseau ne change pas tellement visuellement mais quelques subtilités qui ne sont pas les moindres montrent la fragilité du réseau. Il est intéressant de s'intéresser aux connectivités mineures qui montrent justement les espaces à protéger.

Sur cette deuxième carte (*carte 12 : Connectivités écologiques _ S1)* on peut voir des connectivités mineures qui disparaissent comme celle qui relie le gîte à l'Est de Cléron aux connectivités majeures. On peut voir également que la connectivité qui reliait le gîte d'Ornans au reste du réseau a disparu. Ces deux exemples montrent justement des connectivités fragiles à restaurer. Au nord d'Ornans, une connectivité majeure est existante quand le modèle ne prend pas en compte la perturbation lumineuse, mais en ajoutant une faible barrière lumineuse, la connectivité qui était majeure devient mineure.

Comme pour le S1, le S2 avec une perturbation moyenne, le réseau reste identique à celui du S1 (*annexe : 6*). Cela montre que la portée du lampadaire importe peu à la modélisation, qu'elle soit au seuil des 3 lux ou au seuil maximal de 20 mètres de portée, les connectivités restent les mêmes.

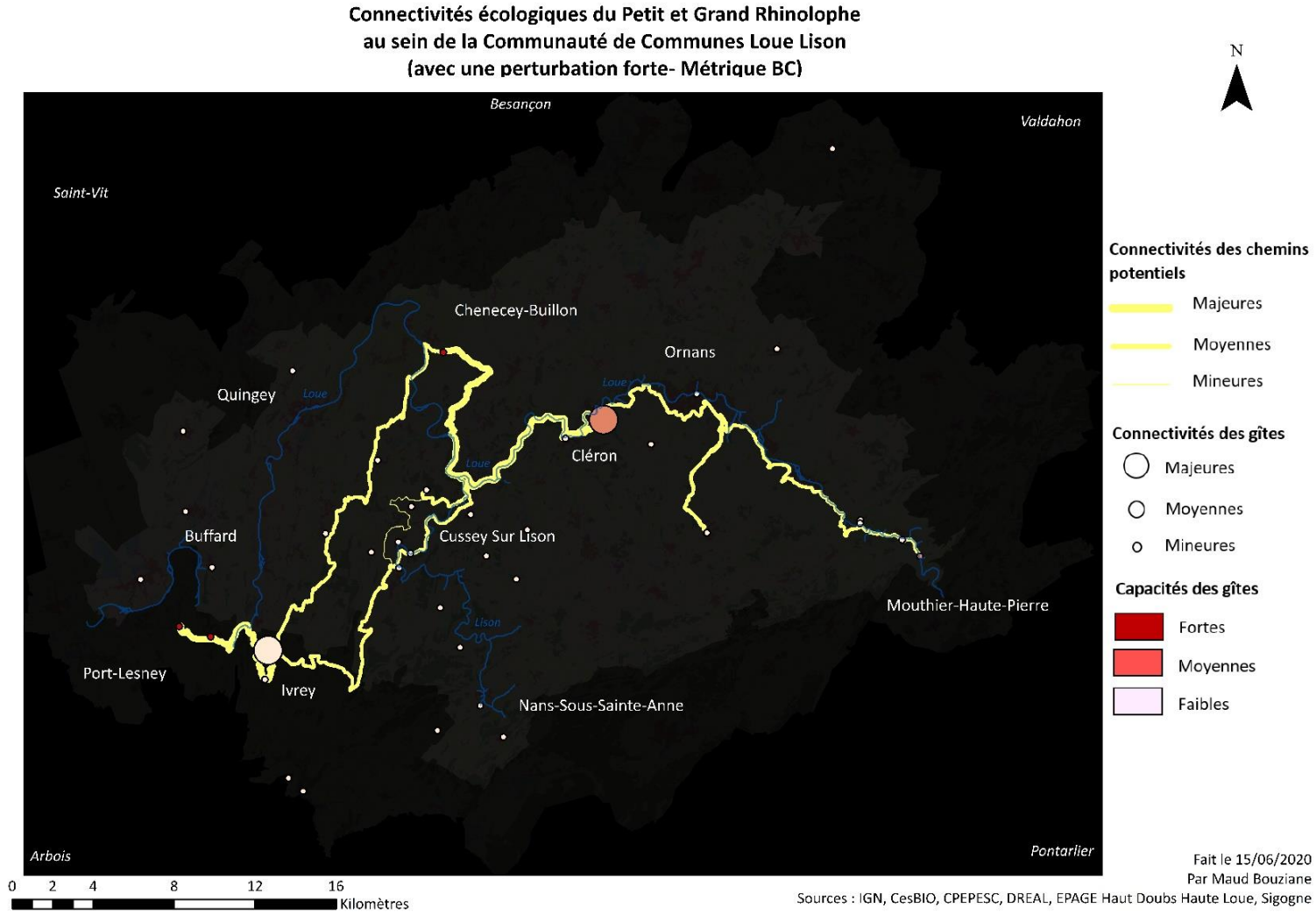


Carte 12 : Connectivités écologiques _ S1

3.2.2.3. Scénario 3

Contrairement aux deux premiers scénarios, le troisième montre une plus grande différence dans les connectivités du réseau (*carte 13 : Connectivités écologiques _ S3*). Visuellement on distingue la disparition de beaucoup de connectivités, particulièrement au centre Ouest du territoire, qui était pourtant la centralité du réseau. La connectivité qui reliait Quingey à Buffard a disparu, de plus, dans ce secteur les connectivités se sont affaiblies. La connectivité majeure reliant Ivrey à Cussey sur Lison n'est plus qu'une connectivité moyenne. Quant aux faibles liens présents dans les précédents scénarios, ils ont tous disparus. Le centre du territoire, proposait une densité de connectivités assez importante dans le modèle témoin, mais devient beaucoup plus fragile et perds sa place centrale dans le réseau. La seule connectivité majeure qui reste très visible est celle entre Chenecey Buillon et Cléron, elle représente alors un chemin extrêmement propice aux déplacements des Rhinolophes.

Sur cet exemple, nous voyons le lien entre les capacités des gîtes et les connectivités entre ceux-ci, plus la capacité d'accueil diminue, plus le flux potentiel d'individus entre les gîtes est moindre. De plus, avec un fort coût attribué à la barrière lumineuse, une forte résistance au sol est présente, ainsi, les chemins sont de moins en moins présents. Quelques gîtes étaient en périphérie du réseau dans les autres analyses mais dans ce dernier scénario, beaucoup de gîtes sont hors réseau, ce sont des gîtes isolés. En appliquant une forte perturbation lumineuse, ces gîtes peuvent être menacés d'extinction et le réseau écologique pourrait s'affaiblir dangereusement.



Carte 13 : Connectivités écologiques _ S3

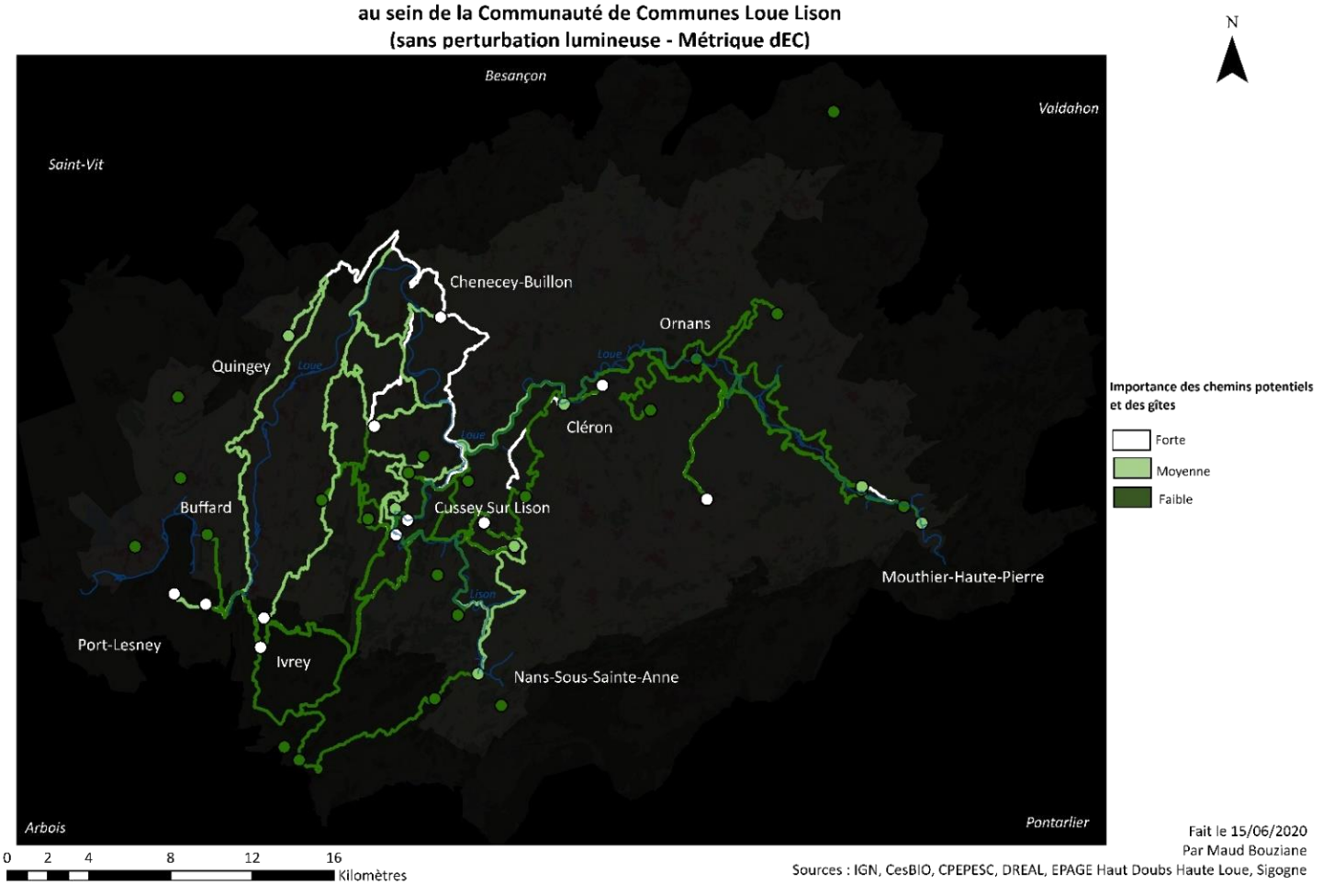
3.2.3. Une hiérarchie dans les différents éléments qui constituent le réseau écologique

La précédente analyse montre des connectivités entre les différents gîtes et le degré d'intensité de celles-ci. La dernière analyse montre l'importance de chaque lien et de chaque nœud dans le réseau. Pour rappel, la métrique delta EC, retire chaque nœud et lien du réseau et recalcule la connectivité équivalente globale, les éléments qui ont alors un poids essentiel dans le réseau vont avoir un taux de variation élevé.

3.3.2.1. Modèle témoin

Comme base, il est important de regarder la forme que ce réseau prend quand aucune barrière lumineuse est insérée dans le modèle. Les liens entre les gîtes ne changent pas car ils reprennent les trajectoires au chemin le plus court. Sur cette carte (*carte 14 : Hiérarchie_Témoin*) plus les chemins et nœuds sont clairs, plus leur place dans le réseau est importante, à l'inverse, plus la couleur verte est présente, moins leur place est essentielle dans le réseau. Sur ce, on peut voir le chemin entre Chenecey Buillon et Cléron qui présente une forte importance au réseau. Sur le secteur central et à l'Ouest du territoire, on retrouve des trajectoires avec des fortes importances pour le bon fonctionnement du réseau écologique de nos espèces. A l'Est, les chemins entre Cléron et Mouthier Haute Pierre ont une plus faible importance au réseau. Excentrés, ces chemins sont « isolés » du reste du réseau, s'ils étaient retirés, le centre du réseau écologique serait encore présent car sa contribution est plus importante aux déplacements des espèces. De manières similaires, les nœuds représentés en blancs ont une plus forte importance dans le réseau. En outre si le gîte de Chenecey Buillon, ou les gîtes présents au centre du territoire étaient retirés, la connectivité globale du réseau serait affaiblie. A l'inverse, les gîtes avec une couleur vert foncé n'ont pas le même poids dans le réseau écologique, le gîte excentré à Naisey les Granges, a une importance vraiment faible voir nul dans le réseau dû à son isolement.

Hiérarchie des chemins potentiels et des gîtes du réseau écologique du Petit et Grand Rhinolophe au sein de la Communauté de Communes Loue Lison (sans perturbation lumineuse - Métrique dEC)



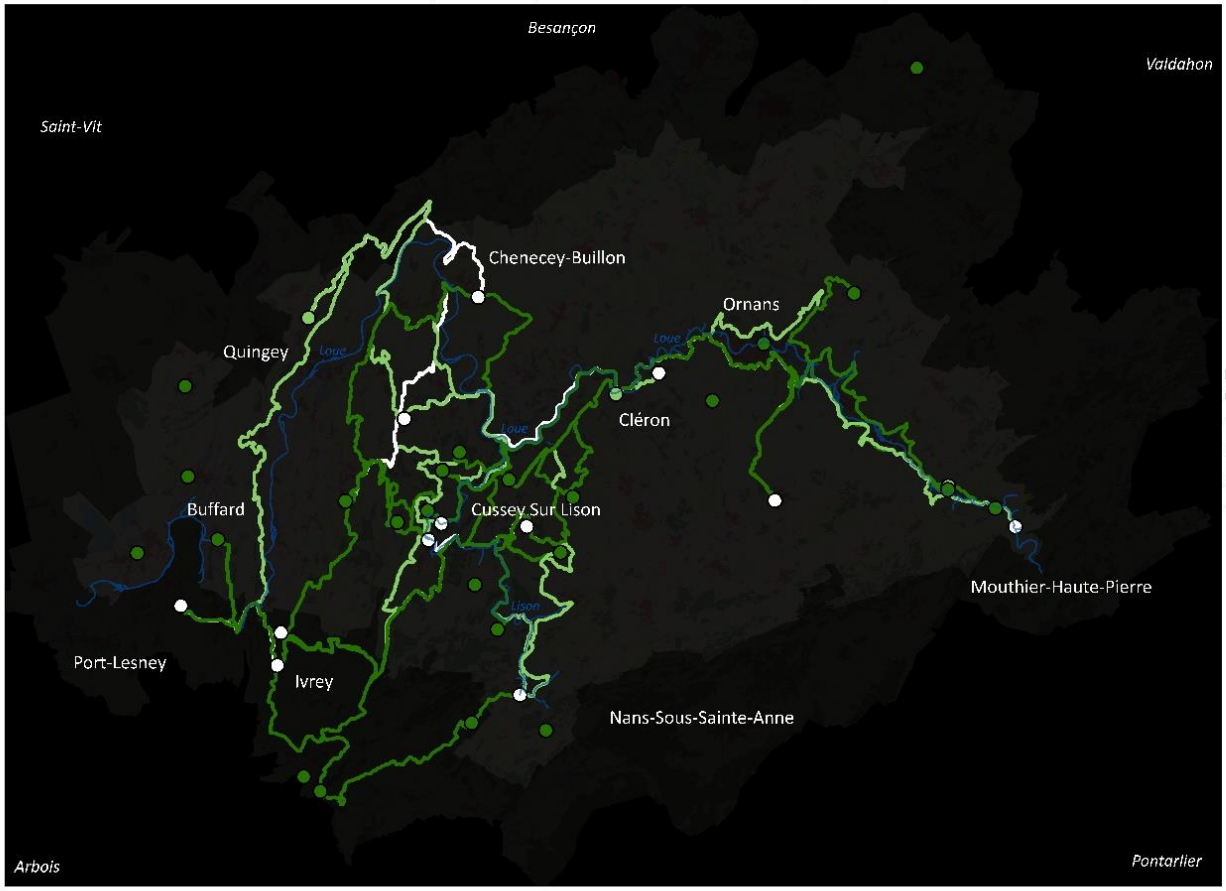
3.3.2.2. Modèle témoin

En ajoutant une faible barrière lumineuse (*carte 15 : Hiérarchie_S1*), l'importance des liens est des nœuds ne sont pas les mêmes que dans le premier cas de figure. Au centre du réseau, nous pouvons voir que dans la majorité des cas, les liens et les nœuds n'ont pas changé d'importance dans la connectivité globale du réseau. Une partie du chemin potentiel entre Chenecey Buillon et Cléron apparaît en vert foncé alors qu'il présentait une forte importance dans le modèle témoin. Cet exemple est également visible par le chemin potentiel entre Quingey et Chenecey Builon, ici, son importance est moyenne alors qu'elle était forte sans prendre en compte la perturbation lumineuse. Mais à l'inverse, une autre partie du chemin entre Chenecey Buillon et le Nord d'Echay présente une forte importance à la connectivité du réseau alors que sans perturbation lumineuse, son importance était plus faible. De la même manière, le chemin reliant l'Est d'Ornans à Saules, a pris en importance dans le réseau. En comparaison avec la métrique de centralité intermédiaire, ce chemin est à préserver, sur deux analyses, sa fragilité est montrée.

Cette analyse permet de cibler les éléments essentiels aux déplacements des espèces, en variant la perturbation lumineuse, on peut voir que les enjeux changent en fonction d'intensité apportée.

Comme pour les dernières analyses, le scénario 2, ne présente pas de grandes différences avec ce scénario mais il est tout de même consultable (*annexe 7*).

Hiérarchie des chemins potentiels et des gîtes du réseau écologique du Petit et Grand Rhinolophe au sein de la Communauté de Communes Loue Lison (avec une perturbation forte - Métrique dEC)

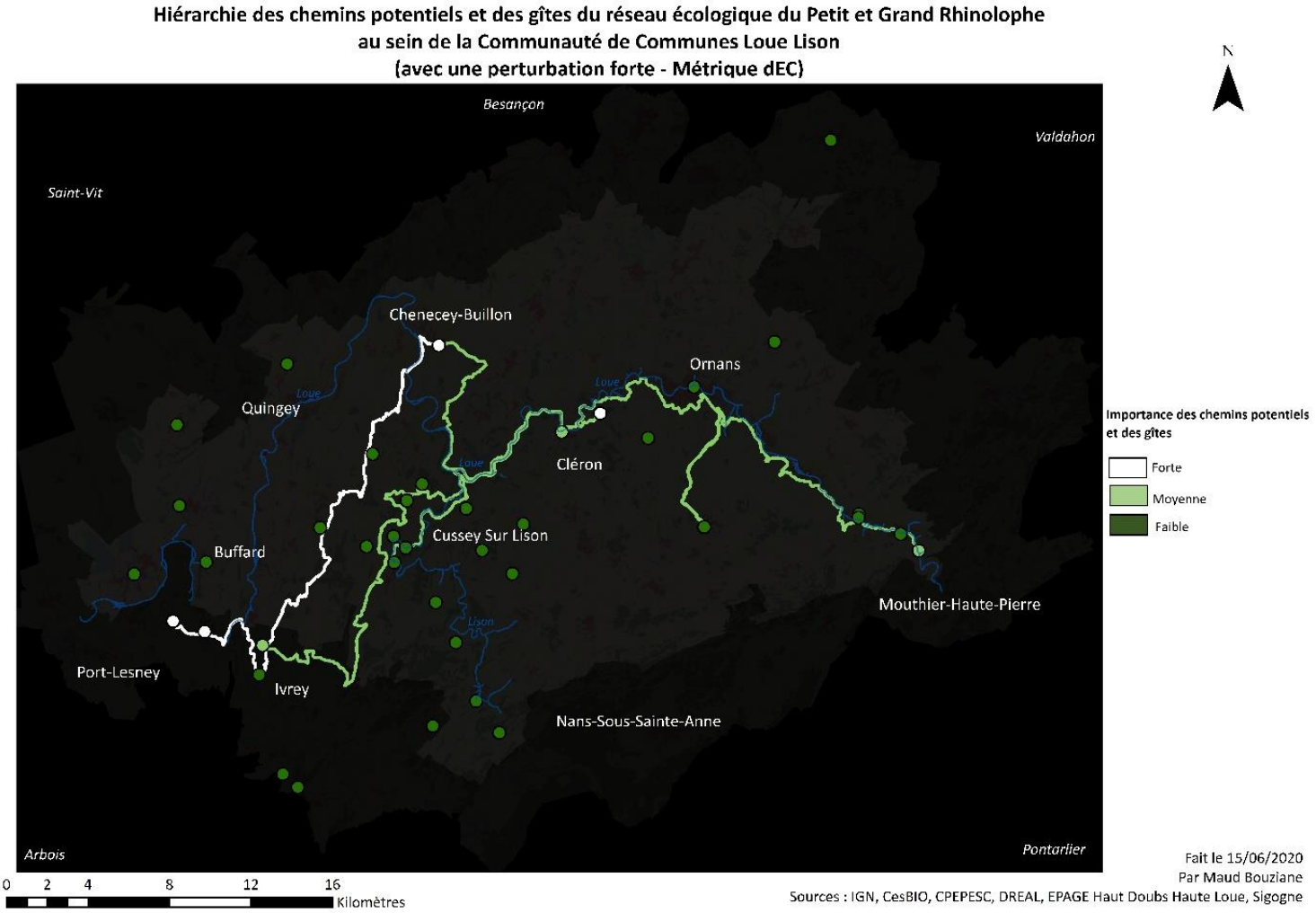


Carte 15 : Hiérarchie_S1

3.3.2.3. Scénario 3

Dans le troisième cas de figure (*carte 16 : Hiérarchie_S3*), où une forte perturbation lumineuse est prise en compte dans le modèle. Chaque chemin potentiel du réseau écologique présente une importance moyenne ou forte. Comme la création de lien est plus difficile avec ce scénario dû au coût attribué à la pollution lumineuse, les localisations des liens importants ont changé. Si l'on regarde à l'Ouest, le chemin entre Chenecey Buillon et Port Lesney, est représenté comme le chemin le plus important à la connectivité globale du réseau. Représenté avec une importance plutôt faible dans les autres modèles, ici l'enjeu de le préserver est plus important. Les autres chemins potentiels ont une importance moyenne pour une bonne connectivité écologique. En se penchant sur le chemin potentiel qui relie l'Est du territoire et le centre, nous pouvons voir que l'importance de ce lien est passé d'un niveau faible à un niveau moyen. Le centre du réseau écologique montré dans les autres analyses n'existe presque plus dans ce troisième scénario, le chemin excentré au réseau devient aussi important que le reste.

En ce qui concerne les gîtes, tout ceux qui ne sont pas connectés par des liens, ont une importance faible pour le réseau. Ecartés du réseau, s'ils étaient retirés, rien ne changerait à la connectivité du réseau dans ce dernier cas de figure.



Carte 16 : Hiérarchie_S3

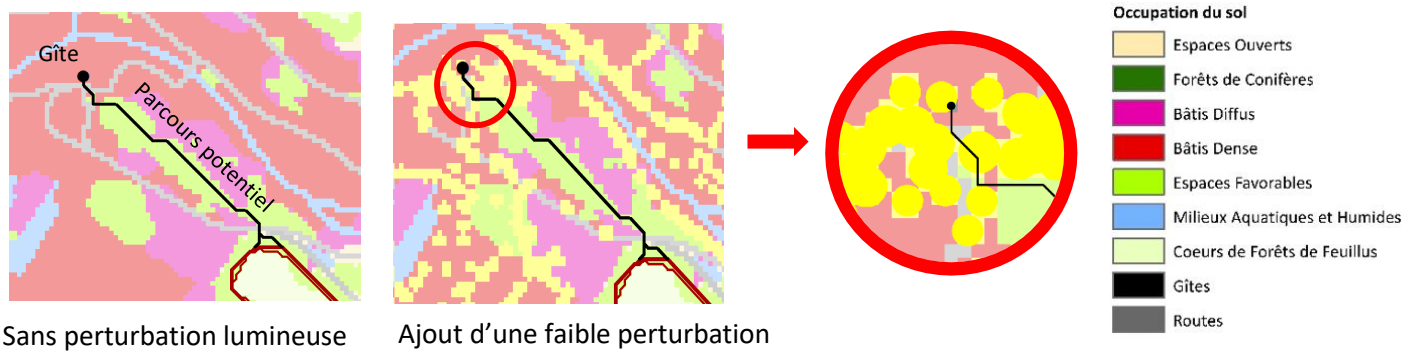
3.3. Une trame noire à protéger

3.3.1. Des secteurs à enjeux

Après avoir analysé et mesuré l'impact de la perturbation lumineuse, il est important d'intégrer la notion de la préservation et de la restauration. Comme expliqué, aujourd'hui, il est crucial d'intégrer le volet de l'environnement via les trames écologiques dans les documents d'urbanisme. Pour cela il faut répondre à la demande de la loi grenelle qui est de localiser des réservoirs de biodiversité.

3.3.1.1. Des routes de vol à restaurer

Au cours des analyses nous avons pu localiser des secteurs plutôt fragiles au réseau écologique, comme par exemple le chemin entre le gîte de la commune d'Ornans avec le reste du réseau écologique. Voici un schéma expliquant ce phénomène (*figure 18 : Chemin à restaurer*) :



Sans perturbation lumineuse Ajout d'une faible perturbation

Figure 18 : Chemin à restaurer

Une fois une faible pollution lumineuse intégrée dans le modèle d'occupation du sol, le chemin de moindre coût n'est plus possible avec une distance de 5000 mètres. La résistance au sol est trop forte. Plusieurs autres chemins potentiels sont dans ce même cas de figures ce sont des secteurs fragiles soit à restaurer soit à préserver. 23 communes sont dans ce cas de figure , vous trouverez en annexe la liste des communes impactées (*annexe : 8*). Bien evidemment, plus la pollution lumineuse est forte, plus le nombre de trajectoires diminue mais cet exemple sert à montrer qu'en ajoutant une faible perturbation lumineuse, une connectivité mineure peut disparaitre.

3.3.1.2. Des routes de vol à préserver

Après ces différentes analyses, nous avons pu distinguer des connectivités majeures avec une forte importance au réseau écologique, ces continuités écologiques sont extrêmement importantes à préserver afin de ne pas déséquilibrer le réseau écologique.



Figure 19 : Chemin à préserver

La trajectoire bleue (*figure 19 : Chemin à préserver*) montre le plus important chemin pour garder une bonne connectivité globale mais elle montre aussi la plus grande connectivité majeure du réseau où le flux potentiel d'individus est très élevé. Préserver cette route de vol permet de garder une bonne centralité du réseau, ainsi les autres continuités peuvent se raccrocher à ce potentiel chemin pour desservir les autres gîtes du territoire.

3.3.1.2. Notion de réservoirs de biodiversité

Evidemment, toutes les continuités vues précédemment sont à préserver, mais il est important de cibler les secteurs à enjeux afin que la trame noire puisse être considérée dans les documents de planification. Pour cela, une méthode est appliquée afin de visualiser les réservoirs de biodiversité (*carte 17 : Réservoirs de biodiversité*).

En combinant les résultats des métriques et en prenant en compte la proportion d'habitat favorables, nous pouvons distinguer des secteurs forts, cela est une proposition méthodologique afin de cibler les réservoirs de biodiversité de la trame noire. Pour cela les chemins le plus importants via la métrique dEC ont été combiné avec les valeurs les plus élevées de la métrique BC. Les espaces favorables ont été extraites où se dessinent les parcours les plus importants du réseau écologique. Ensuite la proportion de ces espaces a été calculé dans des cases de 600 mètres par 600 mètres afin de garder une cohérence sur la zone d'activité de chasse intensive. Ainsi ces 3 éléments montrent une forte importance au réseau écologique. Pour compléter ces résultats, les valeurs les plus hautes des corridors potentiels ont été également prise en compte. La proportion choisie d'espaces favorables dans chaque case est de 30% minimum.

Réservoirs de biodiversité majeurs potentiels sur la Communauté de Commune Loue Lison



Carte 17 : Réservoirs de Biodiversité

3.3.2. Des recommandations spécifiques à la protection du réseau écologique

Ces éléments nous amènent à préserver la trame noire, pour cela des mesures sur la notion d'éclairage doivent être mises en place. Tout d'abord, il faut savoir que les paramètres d'un lampadaire peuvent influencer les déplacements des chauves-souris (*tableau 1 : Recommandations éclairage*) :

Tableau 1 : Recommandations éclairage

	Effets	Mesures à adopter	Exemple de mesures
Spectre Lumineux	Les chauves-souris sont sensibles aux petites longueurs d'onde (Stone et al. 2015)	Adopter une lumière à grandes longueur d'ondes, rouge par exemple (Zeale et al. 2018).	
Intensité et éclairement	Une forrte intensité disperse plus de pollution lumineuse	Réduire l'intensité lumineuse pour créer des corridors sombres (Rowse et al. 2018)	→ choix du type luminaire (Stone et al. 2015) → Installer des grilles sur la lampe (Stone et al. 2015) → Verre intelligent pour réduire l'éclairement par les fenêtres (Bat Conservation Trust 2018)
Direction	Une mauvaise direction des lampes éclaire le ciel et cause une trop grande pollution lumineuse	Ne plus utiliser des lampadaires « boules » et utiliser un éclairage se dirigeant uniquement au sol	→ Modifier l'angle du rayon (Stone et al. 2015) → Ajouter un couvercle (Stone et al. 2015) → Ajouter des réflecteurs qui vont diriger la lumière (Stone et al. 2015)
Durée de l'éclairement	Eclairer pendant le crépuscule cause un dérangement dans le cycle de vie des espèces qui partent en chasse à cette période	Eclairer hors des pics d'activité des espèces (Azam et al. 2015) et réduire la durée d'éclairage	Utiliser des détecteurs de mouvement (Stone et al. 2015)
Planification	Une mauvaise implantation des sources lumineuse causent des effets négatifs	Eviter d'éclaire des endroits spécifiques aux espèces	→ Augmenter l'espace entre les lampes pour créer des refuges d'obscurité (Stone et al. 2015) → Ne pas éclairer les deux côtés d'un corridor (Zeale et al. 2018) → Design de bâtiments de sorte à bloquer la dispersion lumineuse (Bat Conservation Trust 2018) → Structures physiques : murs, haies (Stone et al. 2015)

Une notion très importante est de ne surtout pas éclairer des perchoirs/swarming et corridors associés, car cela pourrait perturber l'activité de chasse des chauves-souris sensibles à la lumière. De plus les Rhinolophes empruntent souvent les mêmes routes de vol, si un corridor devient éclairé, les individus seraient désorientés et ne pourraient plus retrouver leur chemin habituel pour se nourrir.

L'Association National pour la protection du Ciel Nocturne a mis en place des recommandations précises pour un éclairage assurant, sécurité, confort visuel, économies et

protection de l'environnement. Le territoire de Grenoble- Alpes Métropole a constitué un cahier technique de recommandation pour l'éclairage extérieur, ces deux consultations sont en libres d'accès.

Afin de restaurer certaines continuités écologiques, il est aussi important de replanter des haies en milieu agricole pour permettre des routes de vol à ces deux espèces de chauves-souris, par exemple. Il faut savoir que toutes les chauves-souris, leurs lieux de repos et de reproduction sont strictement protégés en Europe dans le cadre du programme européen « Habitats Directive » (Conservation des habitats naturels de la Flore et faune sauvages 1992/42/CEE).

3.3.3. Vers une aide à la décision dans l'aménagement du territoire

Cette mission a pour but d'intégrer la trame noire dans les documents d'urbanisme, ici le réseau écologique a été analysé que pour deux espèces nocturnes. Basée sur les chauves-souris, qui sont des espèces lucifuges, elles sont propices à être étudiées pour une telle mission. Mais la nuit, d'autres espèces sont aussi présentes, comme certaines grenouilles ou encore des gros mammifères comme les chevreuils. Il faudrait alors appliquer cette méthode a plusieurs groupes d'espèces pour avoir une trame noire plus exhaustive. Il est nécessaire d'identifier des réservoirs de biodiversité et des corridors nocturnes pour tous les milieux : les milieux aquatiques, les milieux humides, les milieux boisés , les milieux ouverts ou encore les milieux littoraux.

Au cours des années, les hommes vivent de plus en plus la nuit et emploient des moyens pour pouvoir s'y orienter au dépit d'autres espèces, ainsi l'éclairage ne cesse d'augmenter (Falchi et al. 2016). Une prise de conscience a fait surface sur les impacts écologiques de la pollution lumineuse (Navara & Nelson. 2007, Horvath et al. 2009, Smith, 2009 ; Hölker et al., 2010). Mais la pollution lumineuse est une barrière à caractère immatérielle et les connaissances scientifiques sont encore faibles sur son impact (Sordello et al. 2017). C'est pourquoi modéliser cette perturbation avec plusieurs niveaux d'intensité permet de mesurer son impact sur les chauves-souris. De plus, avec un scénario intégrant une forte perturbation, nous pouvons nous projeter dans le temps et avoir une vision du réseau écologique très affaibli si l'éclairage artificiel continue à augmenter. R.Sordello, parle de gestion différenciée pour raisonner cet éclairage (partage de l'espace et du temps), ce qui pourrait amener à trouver un équilibre entre le besoin des humains et le respect de la faune.

Pour que cette étude soit complète, il faut également analyser l'impact du réseau routier sur ce territoire. Par exemple, les collisions routières sont la première cause de mortalité chez la Chouette effraie (Guinard & Pineau, 2006). Ces deux éléments fragmentant, soit la pollution lumineuse et les réseaux linéaires de transport sont à prendre en compte de manières égales. Intégrer les points noirs des collisions routières dans cette étude pourrait compléter la trame noire.

Au cours de cette étude, une proposition méthodologique a été proposé afin d'étudier le réseau écologique nocturne à l'échelle locale. Il est important d'intégrer le facteur de la pollution lumineuse dans les plans locaux d'urbanisme en faveur de la biodiversité et dans les paysages anthropiques (Kyba et al. 2011 ; Gaston et al. 2015). Grâce à ses différentes analyses, il est possible de localiser des parcelles naturelles et de démontrer leur importance à rester en parcelle N. Mais aussi de sauvegarder une parcelle vouée à l'urbanisation, alors qu'une continuité majeure au réseau écologique est présente à cet endroit. Cette étude peut également être prise en compte dans les plans agro-environnementaux pour permettre la réintroduction d'éléments structurels.
La trame noire pourrait être alors appliquée au même titre que les trames vertes et bleues, et ainsi former un ensemble de couloirs écologiques à préserver.

Tables des illustrations

Tableau 1 : Recommandations éclairage 39

Carte 1 : Territoire de la Communauté de Communes Loue Lison 11
Carte 2 : Gîtes d'été de Rhinolophus Hipposideros et Rhinolophus Ferrumequinum 12
Carte 3 : Gîtes d'été de Rhinolophus Hipposideros et Rhinolophus Ferrumequinum 12
Carte 4 : Modèle d'Occupation du Sol 17
Carte 5 : Capacités des gîtes 23
Carte 6 : Capacités des gîtes S1 24
Carte 7 : Capacités des gîtes S3 25
Carte 8 : Corridors écologiques _ Témoin 28
Carte 9 : Corridors écologiques _ S1 29
Carte 10 : Corridors écologiques _ S3 30
Carte 11 : Connectivités écologiques _ Témoin 31
Carte 12 : Connectivités écologiques _ S1 32
Carte 13 : Connectivités écologiques _ S3 33
Carte 14 : Hiérarchie_Témoin 34
Carte 15 : Hiérarchie_S1 35
Carte 16 : Hiérarchie_S3 36
Carte 17 : Réservoirs de Biodiversité 38

Figure 1 : Trame verte et bleue de l'INPN 3
Figure 2 : Variables d'éclairage « Les métriques d'éclairage possible pour les traduire dans les réseaux écologiques » de Sordello. Dans cette la lumière ambiante ou projetée sera évaluée 5
Figure 3 : Trame noire 6
Figure 4 : Le Petit Rhinolophe 7
Figure 5 : Le Grand Rhinolophe 7
Figure 6 : Cycle de vie du Petit Rhinolophe 8
Figure 7 : Préférences Paysagères 8
Figure 7 : Trame noire 9
Figure 8 : Exemple de vieux bâtis sur le territoire Loue Lison 11
Figure 9 : Cycle de vie du Petit Rhinolophe 10
Figure 10: Exemple sur la commune de Myon 14
Figure 11: Graphe paysager 18
Figure 12 : Pondérations des classes d'occupation du sol 19
Figure 13 : Chemin de moindre coût 19
Figure 16 : Métrique global EC 21
Figure 17 : Métrique locale BC 21
Figure 13 : Delta-Métrique EC 22
Figure 16 : Espaces Favorables autour des gîtes 24
Figure 17 : Chemin à restaurer 37
Figure 17 : Chemin à préserver 37

Bibliographie

A

A.B. Lang et al. , 2006 – activity levels of bats and katydids in relation to lunar cycle – Oecologia 146 p. 659-666

Azam C., Le Viol I., Kerbiriou C., Vernet A., Julien J.F., Bas Y., Plichar L., Maratrat J. Is part-night lighting an effective measure to limit the impacts of artificial lighting on bats? (2015)

Azam C., Le Viol I. Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program (2016)

Azam C., Le Viol I., Bas Y. Zissid G., Vernet A., Julien J.F., Kerbiriou C. Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. Author links open overlay panel (2018)

B

Bat Conservation Trust. Bats and lighting in the UK.Bats and the Built Environment Series. Heritage, 234(September), 453–462. (2008).

Bennie, J., Davies, T. W., Inger, R., & Gaston, K. J. (2014). Mapping artificial lightscapes for ecological studies. Methods in Ecology and Evolution, 5(6), 534–540. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12182.

Bontadina, F., Schmied, S.F., Beck, A., Arlettaz, R., 2008. Changes in prey abundance unlikely to explain the demography of a critically endangered Central European bat. Journal of Applied Ecology 45, 641-648.

Bourgeois M. Impacts ecologiques des formes d'urbanisation. Modélisations urbaines et paysagères. (2015)

Bruderer B. Störung nächtlicht ziehender Vögel durch künstliche Lichtquellen. Station ornithologique Suisse. Sempach. (2002)

Burel, F. et J., Baudry, Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications, Paris, Tec & Doc, 359 p. (1999)

C

Carlier, J., Moran, J., Aughney, T., & Roche, N. (2019). Effects of greenway development on functional connectivity for bats. Global Ecology and Conservation, Vol. 18. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00613

Cinzano P, Falchi F, Elvidge CD (2001) The first World Atlas of the artificial night sky brightness. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328, 689–707.

Clauzel, C., Foltête, J.-C., Girardet, X., Vuidel, G., 2017. Graphab 2.0. Manuel d'utilisation

Cosson E., Gayaud M. Secteurs à enjeux pour les chauves-souris en rapport avec la problématique de l'éclairage public. GC. (2016)

D

Deverchère P., Vauclair S., Nguyen Duy B. – Bardakji. Les différentes approches de la cartographie de la pollution lumineuse. DarkskyLab et La Telescop (2008)

Donald PF, Green RE, Heath MF (2001) Agricultural intensi-fication and the collapse of Europe's farmland bird popu lations. Proc R Soc Lond B 268:25–29

F

Falchi, F., P. Cinzano, D. Duriscoe, C.C.M. Kyba, C.D. Elvidge, K. Baugh, B.A. Portnov, N.A.Rybnikova et R. Furgoni, 2016, The new world atlas of artificial night sky brightness, Science Advances [en ligne], 2, 6, e1600377, URL : https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377

Fischer J. & Lindenmayer D.B., 2007. – Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. Global Ecology and Biogeography, 16 (3) : 265-280.

Fuentes-Montemayor, E., Goulson, D., Cavin, L., Wallace, J.M., Park, K.J., 2013. Fragmented woodlands in agricultural landscapes: The influence of woodland character and landscape context on bats and their insect prey. Agriculture Ecosystems & Environment 172, 6-15.

G

Girardet X., Clauzel C. Graphab. 14 réalisations à découvrir. Actes de la journée "Retour d'expérience sur Graphab" du 27 juin 2017. France. Théma / Ladyss, 2018. hal-01701885

Girardet X. Paysage & [et] infrastructures de transport : modélisation des impacts des infrastructures sur les réseaux écologiques. Géographie. Université de Franche-Comté, (2013).

Grimm NB, Foster D, Groffman P, Grove JM, Hopkinson CS, Nadelhoffer KJ, Pataki DE, Peters DPC (2008) The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients. Front Ecol Environ 6:264–272.

Gurrutxaga I., Albisua I., Arbelaitz O., I.Martin J., Muguerza J., Perona I. SEP/COP: An efficient method to find the best partition in hierarchical clustering based on a new cluster validity index, Pattern Recognition, 3364-3373 (2010) https://doi.org/10.1016/j.patcog.2010.04.021

Gwiazdzinski, L., 2002, La nuit dimension oubliée de la ville, entre insécurité et animation, Thèse de doctorat en géographie, Faculté de géographie de Strasbourg sous la direction de Colette Cauvin-Reymond, France, 761 p.

H

Hale, J. D., Fairbrass, A. J., Matthews, T. J., Davies, G., & Sadler, J. P. The ecological impact of city lighting scenarios: Exploring gap crossing thresholds for urban bats. Global Change Biology, 21(7), 2467–2478 (2015). https://doi.org/10.1111/gcb.12884

Holker, F., C. Wolter, E.K. Perkin et K. Tockner, 2010, Light pollution as a biodiversity threat, Trends in Ecology & Evolution, 25, 12, pp. 681-682.

Horva´th G, Kriska G, Malik P, Robertson B (2009) Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. Frontiers in Ecology and the Environment, 7, 317–325.

J

Jean François Julien, chiropterologue

Jennings N, Pocock MJO (2009) Relationships between senstivity to agricultural intensification and ecological traits of insectivorous mammals and arthropods. Conserv Biol 23:1195–1203

Jongman, R.H.G., 1995, Nature conservation planning in Europe : developing ecological networks,Landscape and Urban Planning [en ligne], 32, 3, pp. 169-183, https://doi.org/10.1016/0169-2046(95)00197-O

K

Karst V., Biedermann M., Schorcht W. und Bontadina F. Verhindern Schutzzäune Kollisionen von Fledermäusen an Straßen ? Ableitungen zur Wirksamkeit von Querungshilfen für die Kleine Hufeisennase (2018)

Kuijper DPJ, Schut J, van Dullemen D, Toorman H, Goossens N, Ouwehand J, Limpens HJGA (2008) Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (Myotis dasycneme). Lutra 51:37–49

L

Laforge A., Fonderlick J., Besnard A. Projet « Trame noire » : connectivité écologique nocturne et Chiroptères. (2018)

Limpens, H., Kapteyn, K., 1991. Bats, their behaviour and linear landscape elements. Myotis 29, 39-48.

LONGCORE T. & RICH C. (2004).- Ecological light pollution. Front. Ecol. Environ 2004 (2) : 191-198.

LSPN 14, La lisière, une zone frontière riche en espèces, Bâle. (1995)

M

McDonald RI, Kareiva P, Forman RTT (2008) The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. Biol Conserv 141:1695–1703

McKinney ML (2008) Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. Urban Ecosyst 11:161–176

N

Navara KJ, Nelson RJ (2007) The dark side of light at night: physiological, epi demiological, and ecological consequences. Journal of Pineal Research, 43, 215–224.

O

Opdam P., E. Steingröver et S. Van Rooij, 2006, Ecological networks : A spatial concept for multi actor planning of sustainable landscapes, Landscape and Urban Planning [en ligne], 75, 3-4, pp. 322-332, URL : https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.015

P

Pauwels J., Le Viol I., Azam C., Valet N., Julien J.-F., Y. Bas, C. Lemarchand. Accounting for artificial light impact on bat activity for a biodiversityfriendly urban planning (2019)

R

Rayfield B.,Fortin MJ., Fall A. The sensitivity

Rich, C. et T. Longcore, 2006, Ecological consequences of artificial night lighting, Island Press, Washington, D.C., USA, 458 p.

Rydell J. (1992).- Exploitation of insects around streetlamps buy bats in Sweden. Funct. Ecolo. 6 : 744-750

S

Sahraoui, Y., Foltête, J. & Clauzel, C. A multi-species approach for assessing the impact of land-cover changes on landscape connectivity. Landscape Ecol 32, 1819–1835 (2017). https://doi.org/10.1007/s10980-017-0551-6

Sahraoui Y. Le paysage, entre esthétique & écologie : modélisation rétrospective à partir de changements d'occupation du sol (2016)

Siblet, J.P., 2008, Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité, Synthèse bibliographique,

Muséum national d'Histoire naturelle. Paris, France, 30 p.

Siblet J-P.Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Service du Patrimoine Naturel. Synthèse bibliographique (2018)

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

S.Milius et al. , 2005 – The moon ! Bat lunar phobia come from slim picking Gale group – Abstract

Smith M (2009) Time to turn off the lights. Nature, 457, 27.

Snoeck, B., Baar, F., 2001, Aménager les lisières forestières, Forêt Wallonne, 53, pp. 2-15 (2001)

Stone E., Jones G., Harris S. Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. (2012)

Straka, T. M., Wolf, M., Gras, P., Buchholz, S., & Voigt, C. C. (2019). Tree cover mediates the effect of artificial light on urban bats. Frontiers in Ecology and Evolution, 7(MAR). (2019)https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00091

T

Tournant P. Impact du paysage sur la distribution spatiale et génétique des colonies de petits rhinolophes (2013)

V

Verbeylen G., De Bruyn L., Adraensen F., Matthysen E. Does matrix

Verboom, B., Huitema, H., 1997. The importance of linear landscape elements for the pipistrelle Pipistrellus pipistrellus and the serotine bat Eptesicus serotinus. Landscape Ecology 12, 117-125

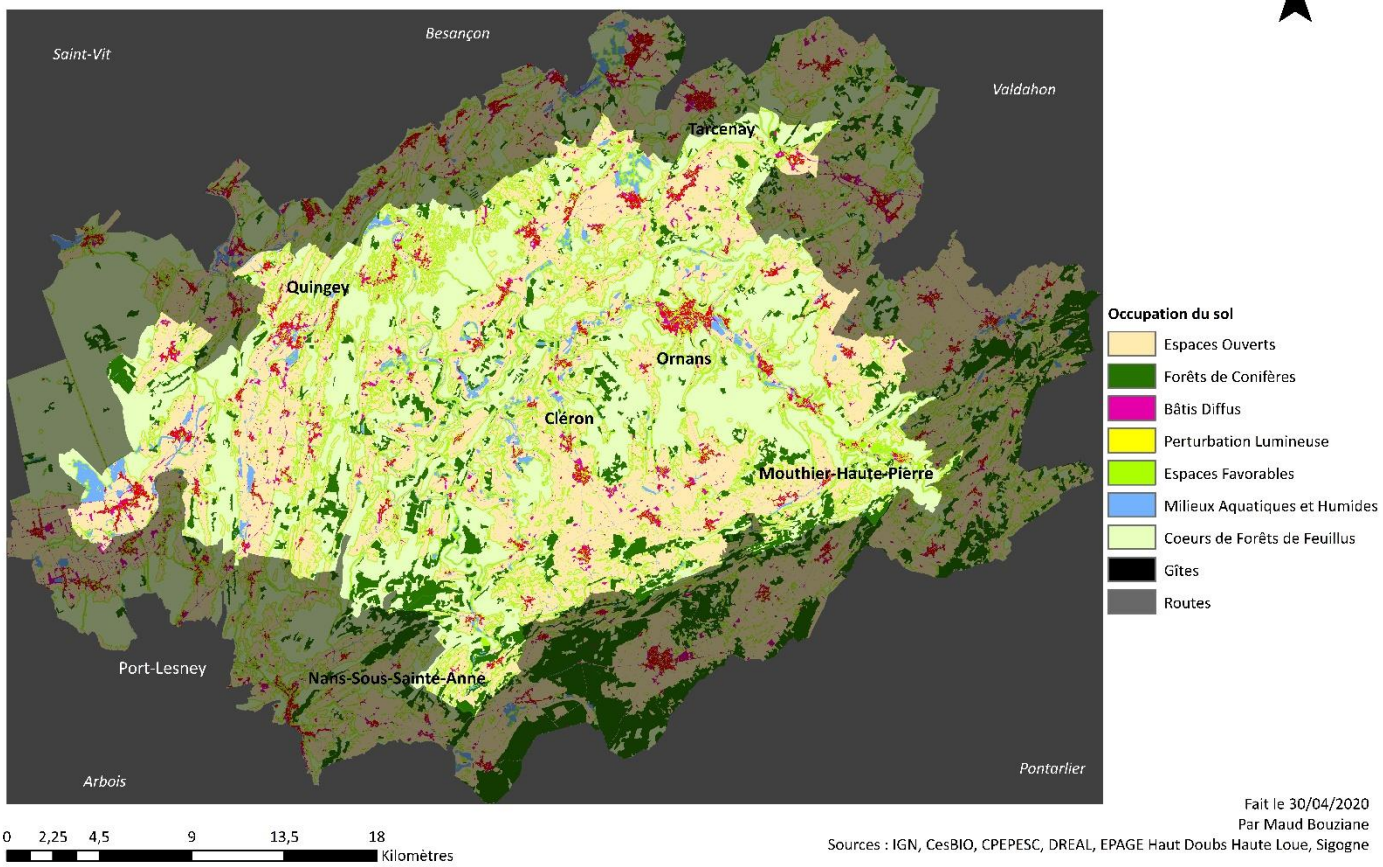
W

Wickramasinghe LP, Harris S, Jones G, Vaughan Jennings N (2004) Abundance and species richness of nocturnal insects on organic and conventional farms: effects of agricultural intensification on bat foraging. Conserv Biol 18:1283–1292

Annexe

Annexe 1

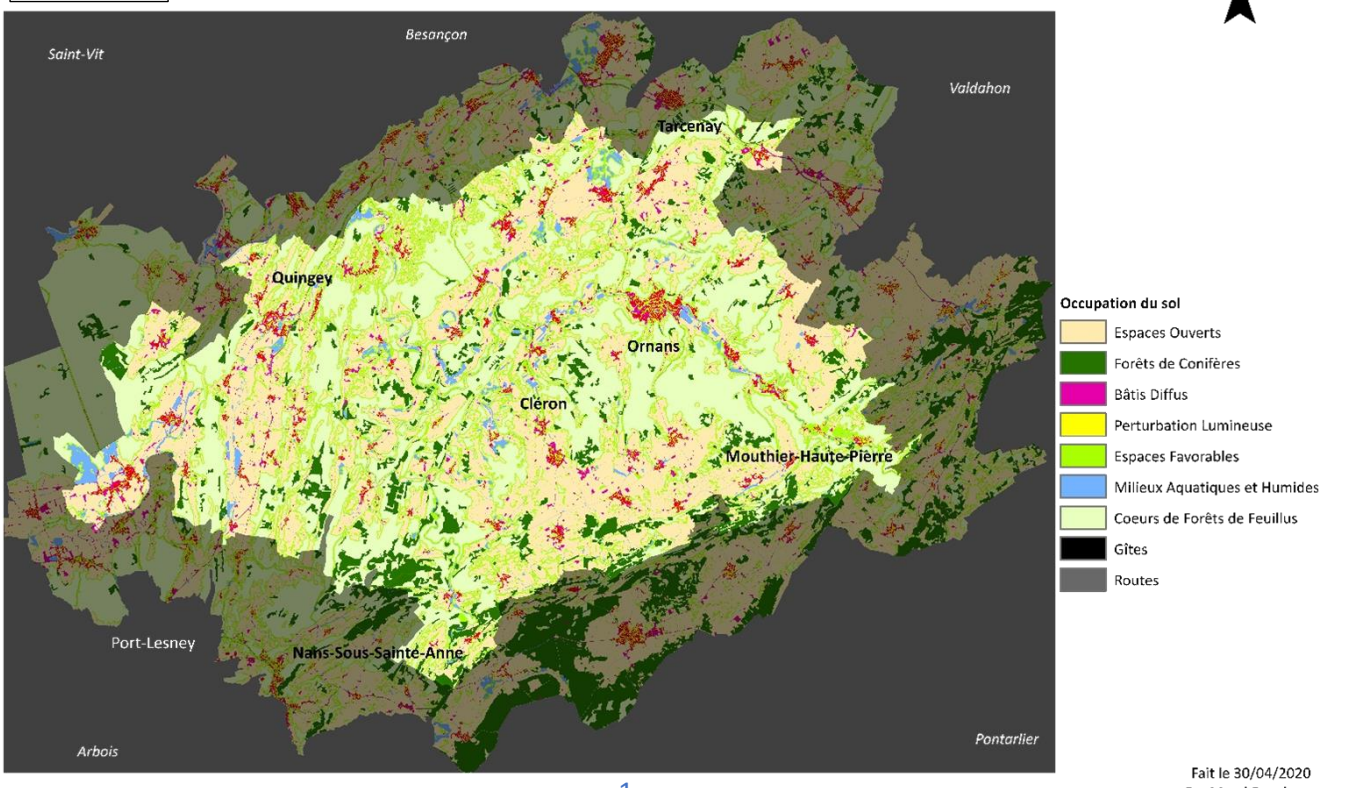
Modèle d'Occupation du sol
de la Communauté de Communes Loue Lison
(avec une perturbation lumineuse faible)



Fait le 30/04/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Annexe 2

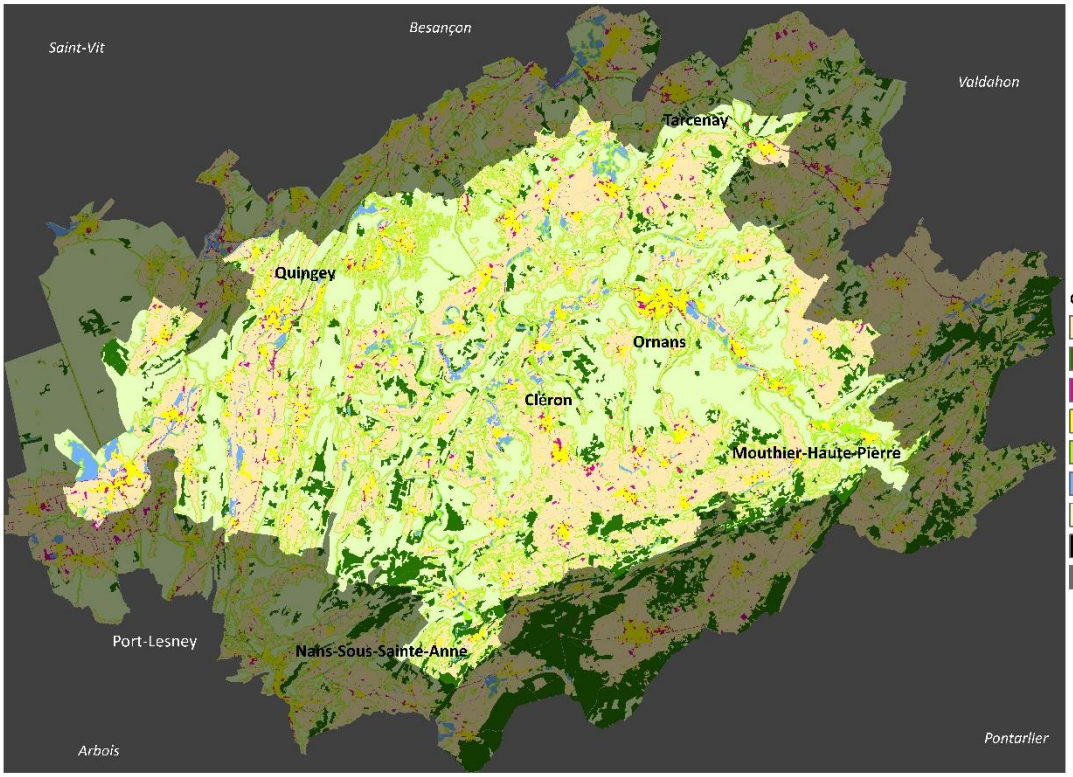
Modèle d'Occupation du sol
de la Communauté de Communes Loue Lison
(avec une perturbation lumineuse moyenne)



Fait le 30/04/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Annexe 3

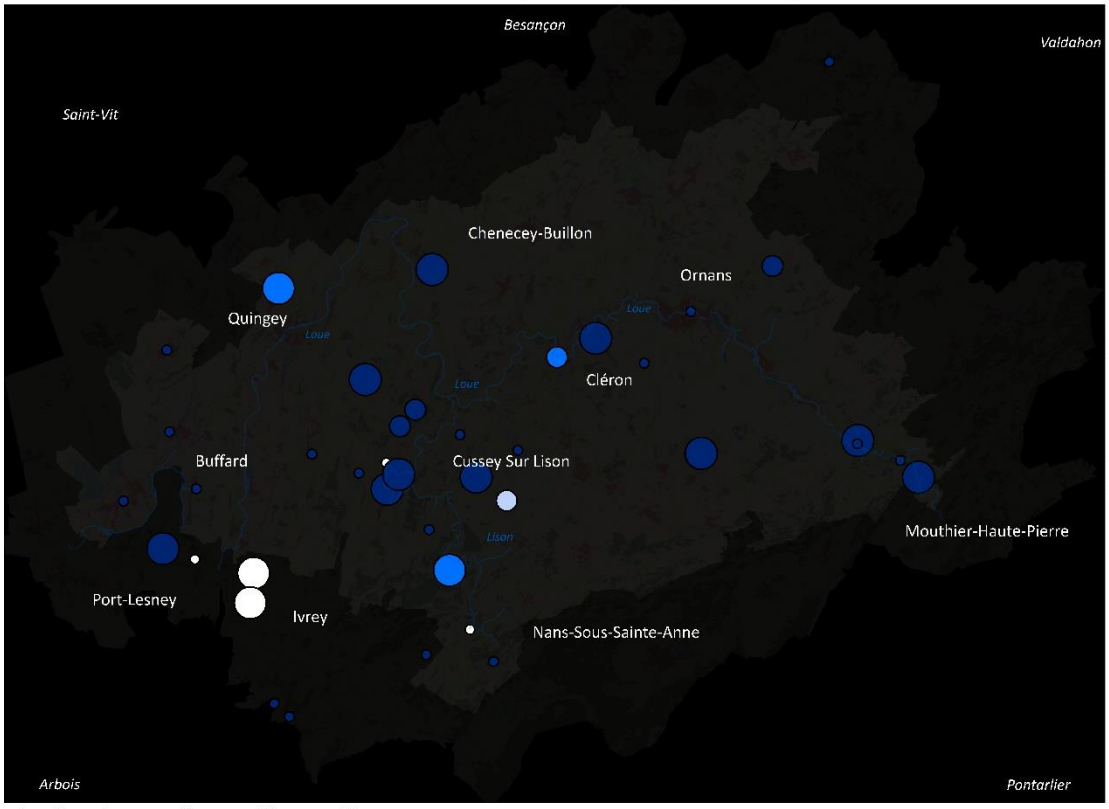
Modèle d'Occupation du sol
de la Communauté de Communes Loue Lison
(avec une perturbation lumineuse forte)



Fait le 30/04/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Annexe 4

Capacités des gîtes du Petit et Grand Rhinolophe
au sein de la Communauté de Communes Loue Lison
(avec une faible perturbation)



Fait le 15/06/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Annexe 5

Corrdiors écologiques potentiels du Petit et Grand Rhinolophe au sein de la Communauté de Communes Loue Lison (avec une perturbation lumineuse moyenne)



Fait le 30/04/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Annexe 6

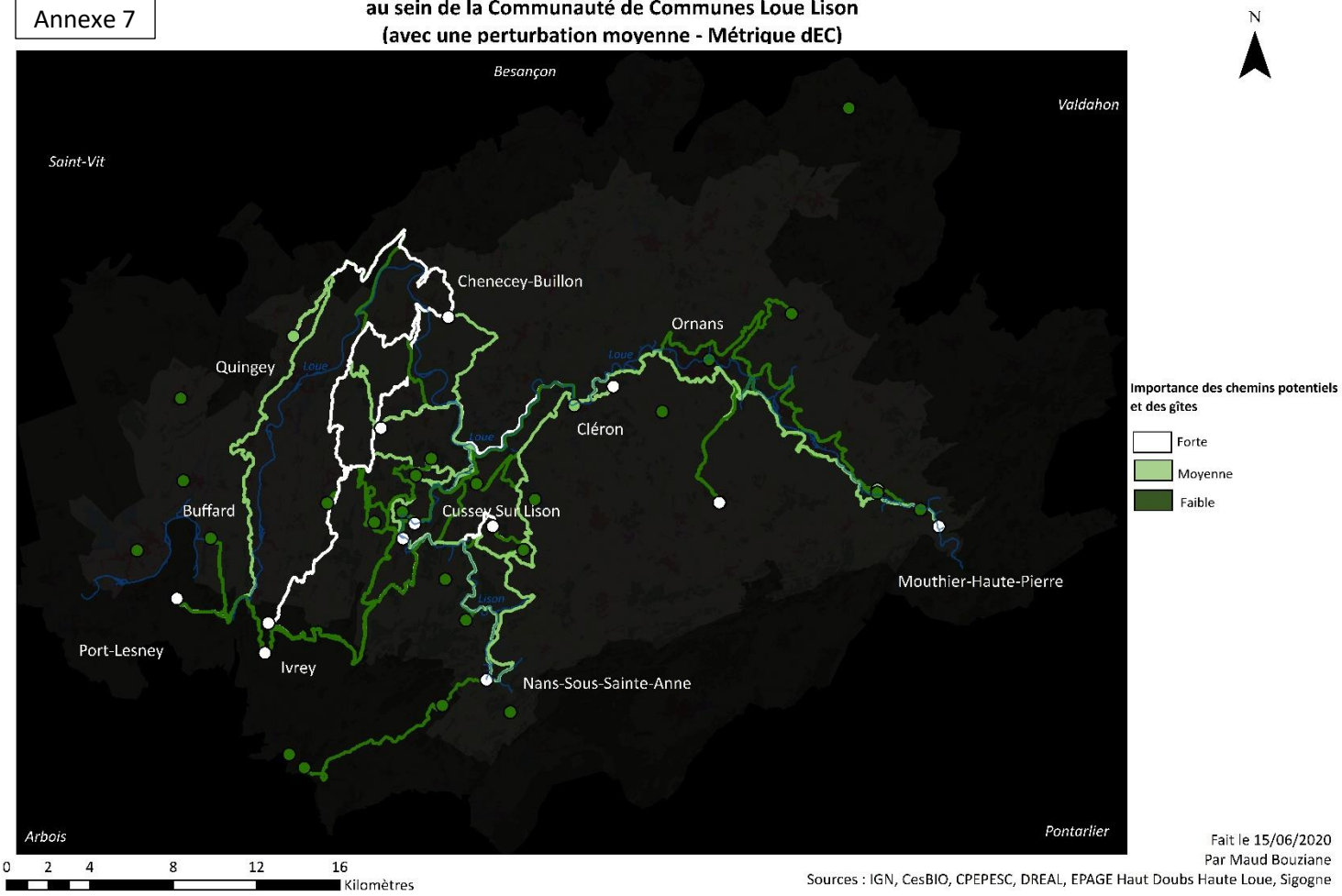
Connectivités écologiques du Petit et Grand Rhinolophe au sein de la Communauté de Communes Loue Lison (avec une perturbation moyenne- Métrique BC)



Fait le 15/06/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Annexe 7

Hiérarchie des chemins potentiels et des gîtes du réseau écologique du Petit et Grand Rhinolophe au sein de la Communauté de Communes Loue Lison (avec une perturbation moyenne - Métrique dEC)



Fait le 15/06/2020
Par Maud Bouziane
Sources : IGN, CesBIO, CPEPESC, DREAL, EPAGE Haut Doubs Haute Loue, Sigogne

Annexe 8

INSEE	Commune
25359	Malans
25400	Montgesoye
25129	Chassagne-Saint-Denis
25209	Échay
25338	Lizine
25149	Chenecey-Buillon
25223	Éternoz
25185	Cussey-sur-Lison
25155	Cléron
25017	Amondans
25339	Lods
25415	Mouthier-Haute-Pierre
25044	Bartherans
25533	Saraz
25098	Buffard
25416	Myon
25434	Ornans
25420	Nans-sous-Sainte-Anne
25460	Le Val
25002	Abbans-Dessus
25488	Rennes-sur-Loue
25154	Chouzelot
25475	Quingey

Le stage a pour but d'intégrer la « trame noire » dans les documents d'urbanisme, plus précisément dans les PLU(i). L'apport de la modélisation des parcours potentiels des espèces présentes sur le territoire, aura plus de poids auprès des décideurs de l'aménagement du territoire. L'objectif est également de localiser les ruptures écologiques, afin de pouvoir les restaurer ou protéger les réseaux écologiques déjà présents.
La mission du travail présenté est d'identifier et caractériser la « trame noire » sur le territoire de la Communauté de Communes Loue-Lison. Cette identification sera permise par la modélisation des réseaux écologiques d'espèces étudiées, à l'aide de graphes paysagers. Il est important de choisir une espèce nocturne et présente sur le territoire pour élaborer un premier modèle montrant les déplacements, le choix s'est porté sur deux espèces de chiroptères : le Petit et le Grand Rhinolophe.
Une analyse bibliographique permet de savoir quelles ont été les méthodes employées pour recenser les méthodes d'identification des réseaux écologiques. Dans ce travail, la modélisation se fait sur le logiciel Graphab. Pour cela, il est important de faire un inventaire des données d'occupation du sol pour représenter au mieux la réalité du terrain, en prenant en compte l'habitat de l'espèce, ses zones de chasses et de déplacements.
Ce stage propose une méthode qui permet d'appréhender les différentes étapes à mettre en place, pour répondre aux objectifs du travail. C'est une proposition méthodologique qui montre une possibilité de modélisation de « la trame noire » via deux espèces de chiroptère.

Mots clés : Réseau écologique, trame noire, perturbation lumineuse, modélisation, chiroptères

Année : 2019/2020

Auteur : BOUZIANE Maud

Responsable Pédagogique : GIRARDET Xavier