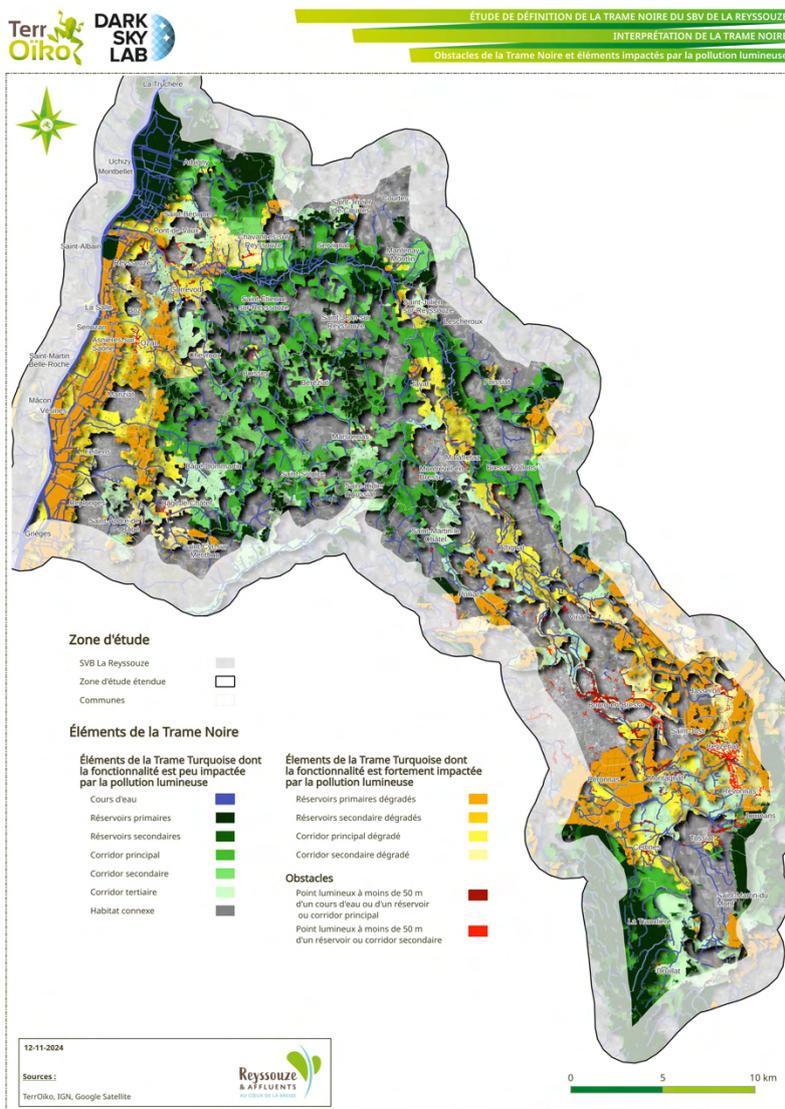


Étude pour la définition de la Trame Noire

Syndicat de Bassin Versant de la Reyssouze



Janvier 2025

Maitrise d'ouvrage : Syndicat de Bassin Versant de la Reyssouze

Maitrise d'œuvre : TerrOïko – DarkSkyLab

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	2
A. INTRODUCTION	3
1. LA POLLUTION LUMINEUSE : UN CHALLENGE POUR LE 21ÈME SIÈCLE.....	3
2. LA POLLUTION LUMINEUSE ET SES CONSÉQUENCES SUR LA BIODIVERSITÉ	4
3. LA TRAME NOIRE : DÉFINITION ET ATTENDUS	6
4. LA TRAME NOIRE À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT DE LA REYSSOUZE.....	7
B. MÉTHODOLOGIE	10
1. LE TERRITOIRE D'ÉTUDE.....	10
2. LA RECONQUÊTE DE LA NUIT	11
3. QUANTIFIER L'ÉTAT DES LIEUX DU PATRIMOINE NATUREL	11
<i>i. Approche structurelle</i>	14
<i>ii. Approche fonctionnelle</i>	15
<i>iii. Approche inventoriale</i>	18
<i>iv. Approche des zonages institutionnels</i>	21
4. LA CARTOGRAPHIE FINALE.....	25
5. INVENTAIRE DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL ET MODÉLISATION DE LA POLLUTION LUMINEUSE	25
6. IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LES ÉLÉMENTS DE LA TRAME	28
C. ÉTAT DES LIEUX DU PATRIMOINE NATUREL	31
1. APPROCHE STRUCTURELLE : COMPILATION DES DONNÉES SUR LA DESCRIPTION PHYSIQUE DES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE.....	31
2. APPROCHE FONCTIONNELLE : ESTIMATION DE L'IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LE MAINTIEN ET LES MOUVEMENTS DES ESPÈCES.....	33
<i>i. Préambule sur l'utilisation des résultats des simulations avec SimOïko</i>	33
<i>ii. Modélisations supplémentaires pour affiner la Trame Turquoise</i>	35
<i>iii. Impact de la pollution lumineuse sur la fonctionnalité des espèces de la trame turquoise</i>	38
<i>iv. Impact de la pollution lumineuse sur la fonctionnalité des cours d'eau</i>	49
3. CROISEMENT DES RÉSULTATS DES SIMULATIONS AVEC LES DONNÉES D'INVENTAIRES	51
4. CROISEMENT DES RÉSULTATS DES SIMULATIONS AVEC LES ZONAGES INSTITUTIONNELS.....	52
5. SYNTHÈSE DES ENJEUX DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LA PATRIMOINE NATUREL	54
D. IDENTIFICATION D'UNE TRAME NOIRE	55
1. PRÉAMBULE À L'IDENTIFICATION DE LA TRAME.....	55
1. IDENTIFICATION DES OBJETS COURS D'EAU ET RÉSERVOIRS DE BIODIVERSITÉ	57
<i>i. Prise en compte de la capacité des espèces à accomplir l'intégralité de leur cycle de vie : l'approche fonctionnelle</i>	57
<i>ii. Prise en compte des réservoirs de biodiversité et des cours d'eau de l'approche des zonages institutionnels</i>	57
<i>iii. Prise en compte de l'approche inventoriale</i>	58
2. IDENTIFICATION DES OBJETS CORRIDORS ÉCOLOGIQUES.....	58
<i>i. Prise en compte des estimations du trafic en individus</i>	58
<i>ii. Prise en compte des corridors écologiques dans les zonages institutionnels</i>	59
3. IDENTIFICATION DES OBSTACLES.....	61
4. CARTOGRAPHIE DE LA TRAME NOIRE.....	61
E. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	63

Table des figures

Figure 1. Illustration des impacts de la pollution lumineuse sur l’astronomie, la santé humaine, les dépenses énergétiques et la biodiversité.....	5
Figure 2. Illustration des effets de la pollution lumineuse sur les processus à l’œuvre dans la vie des espèces.....	6
Figure 3. Illustration du guide Trame Noire concernant les effets de la pollution lumineuse sur la biodiversité.....	7
Figure 4. Illustration du guide Trame Noire concernant les recommandations pour la gestion de l’éclairage.....	11
Figure 5. Description de la zone d’étude.....	12
Figure 6. Illustration de la méthodologie mise en place par TerrOïko pour valoriser l’ensemble des données et ressources disponibles sur la biodiversité pour décliner les objets de la Trame Noire.....	15
Figure 7. Présentation simplifiée du fonctionnement du logiciel SimOïko utilisé pour caractériser l’impact de la pollution lumineuse sur la vie des espèces.....	18
Figure 8. Illustration de la prise en compte du comportement des individus à l’interface entre plusieurs typologies du paysage (gauche) et illustration de la prise en compte de la capacité des espèces à franchir les différentes typologies du paysage (droite).....	20
Figure 9 - Données d’inventaires valorisées dans le cadre de cette étude.	22
Figure 10. Cartographie des zonages réglementaires et d’inventaire.....	24
Figure 11. Cartographie de la Trame Verte et Bleue Régionale (SRCE).....	25
Figure 12. Cartographie de la Trame Turquoise de 2022.....	26
Figure 13. Illustration de la luminance zénithale en extrémité de nuit disponible dans le rapport d’étude de DarkSkyLab. La majeure partie de la biodiversité du territoire est soumise à une luminosité importante et il n’existe que peu de secteurs où la luminosité du ciel nocturne est assez sombre.....	28
Figure 14. Illustration de la pollution lumineuse agrégée sur le territoire (combinaison des points lumineux connus et de la luminance zénithale). Une zone tampon de 20 mètres autour des points lumineux a été considéré comme impactant totalement les capacités biotiques et les mouvements des espèces dans SimOïko. Les seuils de luminance zénithale correspondent à ceux décrits par DSL.....	29
Figure 15. Cartographie de l’occupation du sol par sous-trame.....	34
Figure 17. Illustration du croisement entre les cours d’eau du territoire et l’estimation de la qualité du ciel nocturne (halo lumineux).....	52
Figure 19. Cartographie de la fonctionnalité des corridors écologiques des milieux boisés du SRCE.	55
Figure 23. Cartographie des réservoirs de biodiversité, des corridors écologiques et du reste de la matrice paysagère.	62
Figure 24. Cartographie de la Trame Noire.....	64

Table des tableaux

Tableau 1. Illustration des typologies de données qui sont classiquement valorisées dans le cadre des missions « Trame ».....	13
Tableau 2. Définition de la fonctionnalité dans le cadre des politiques « Trame ».....	16
Tableau 3 : Catégorisation de la pollution lumineuse (selon l’ONB). Les cases grisées n’existent pas dans la qualification de l’ONB. ^a : Catégorie rajoutée par TerrOïko pour signifier l’intensité localement au pied d’un lampadaire.....	31
Tableau 4. Légende et interprétation de l’estimation de la probabilité de maintien qui sert à caractériser la fonctionnalité des réservoirs de biodiversité.....	34
Tableau 5. Légende et interprétation de l’estimation du trafic en individus qui sert à caractériser la fonctionnalité des corridors écologiques.....	35
Tableau 6. Description des espèces ou guildes d’espèces cibles des simulations avec SimOïko.....	35
Tableau 7 : Récapitulatif structurel de l’exposition des cours d’eau au halo lumineux (gauche) et à la pollution lumière directe (droite)	50
Tableau 8. Synthèse des possibilités offertes par le croisement des données d’inventaires disponibles pour l’étude et des résultats des simulations.	52

A. INTRODUCTION

1. LA POLLUTION LUMINEUSE : UN CHALLENGE POUR LE 21ÈME SIÈCLE

La lumière artificielle la nuit, également appelée pollution lumineuse ou nuisance lumineuse, est un phénomène en forte augmentation avec des conséquences importantes sur la santé humaine, la pratique de l'astronomie et les dépenses énergétiques des collectivités.

De plus, la lumière artificielle représente un facteur de pression important pour la biodiversité en contribuant à la **perte d'habitat** et à la **fragmentation des réseaux écologiques** pour la faune et la flore.

Actuellement, et dans le cadre plus global d'une politique de « **reconquête de la nuit** », une réponse opérationnelle à l'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité s'organise autour de la politique **Trame Noire**.



Figure 1. Illustration des impacts de la pollution lumineuse sur l'astronomie, la santé humaine, les dépenses énergétiques et la biodiversité.

2. LA POLLUTION LUMINEUSE ET SES CONSÉQUENCES SUR LA BIODIVERSITÉ

Le guide **Trame Noire**¹ décrit très bien les différents effets de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Un extrait est présenté à la page suivante et permet de réaliser qu'un large panel taxonomique peut être impacté par la pollution lumineuse.

De plus, la littérature scientifique récente tend à montrer que l'ensemble des espèces peuvent être impactées par la pollution lumineuse, qu'elles soient **nocturnes ou diurnes**. Les effets peuvent cependant être différents, notamment sur l'activité, avec une augmentation de l'activité pour les espèces diurnes et une diminution pour les espèces nocturnes soumises à la pollution lumineuse.

Concernant les processus à l'œuvre dans la vie des espèces, la pollution lumineuse peut entraîner une réduction de la **fécondité**, de la **survie**, de la **qualité des milieux** (notion de capacité biotique), et peut également altérer les **mouvements des individus**².

C'est donc l'ensemble des processus démographiques qui peuvent être impactés (naissance, mortalité, immigration, émigration), ce qui à terme peut conduire à réduire considérablement le **maintien des populations** et le **trafic en individus** sur les territoires.

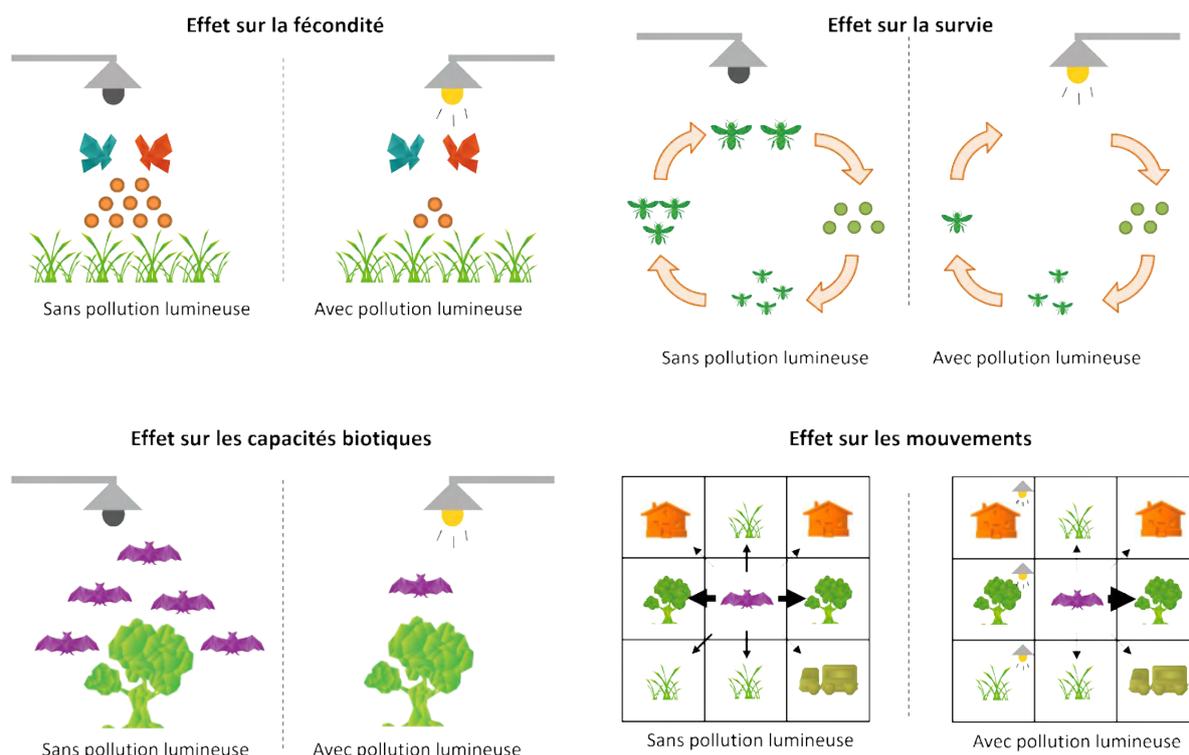


Figure 2. Illustration des effets de la pollution lumineuse sur les processus à l'œuvre dans la vie des espèces.

¹ Sordello R, Paquier F, Daloz A. 2021. Trame Noire : Méthodes d'élaboration et outils pour sa mise en œuvre. OFB - UMS Patrinat. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/831>

² Sordello, R., Busson, S., Cornuau, J. H., Deverchère, P., Faure, B., Guetté, A., ... & Vauclair, S. (2022). A plea for a worldwide development of dark infrastructure for biodiversity-Practical examples and ways to go forward. *Landscape and Urban Planning*, 219, 104332.

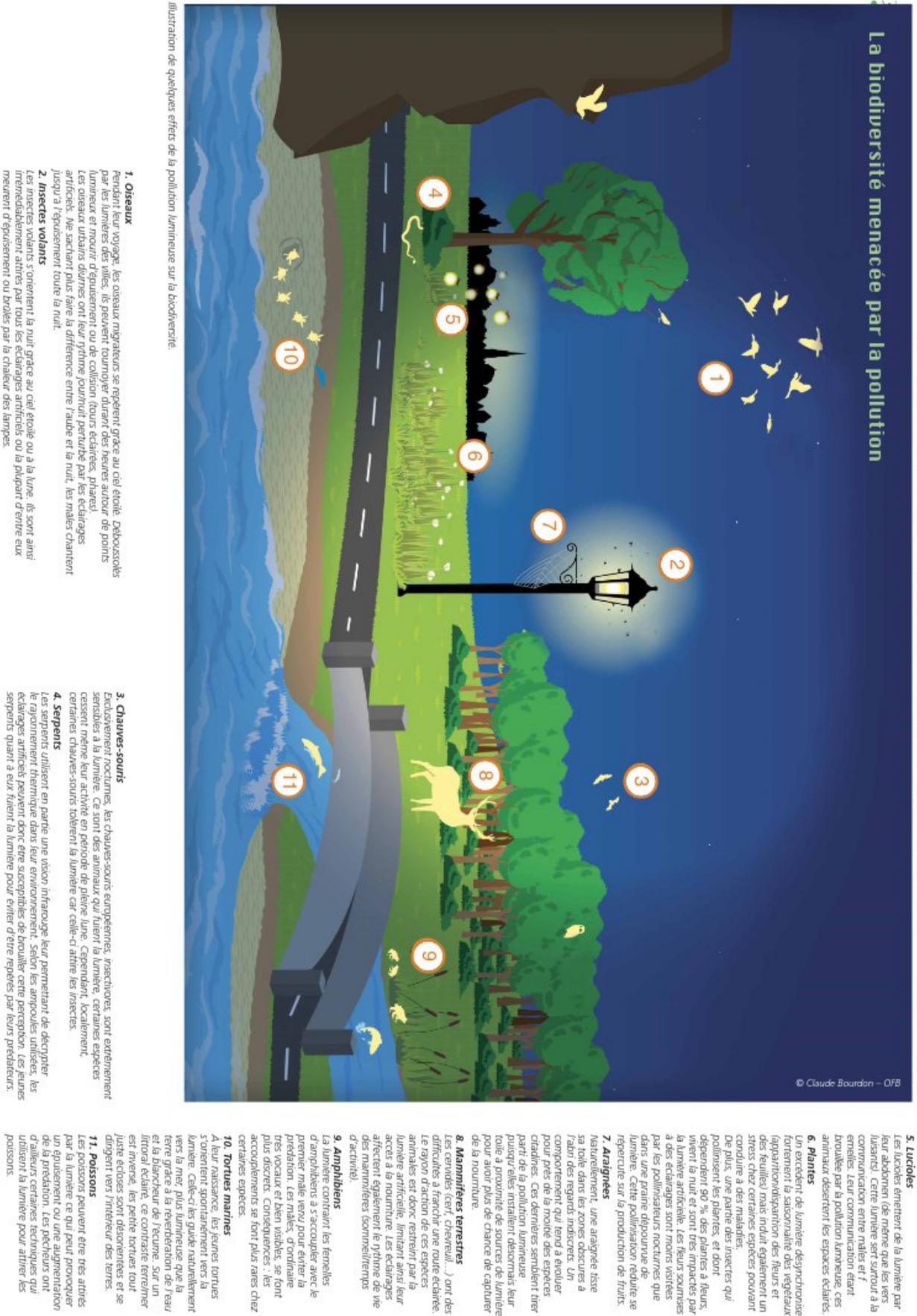


Figure 3. Illustration du guide Trame Noire concernant les effets de la pollution lumineuse sur la biodiversité.

3. LA TRAME NOIRE : DÉFINITION ET ATTENDUS

La Trame Noire est un outil d'urbanisme dérivé de la Trame Verte et Bleue³ qui vise à **prendre en compte l'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité dans le cadre de la planification territoriale.**

Il est attendu des acteurs des territoires qu'ils identifient, caractérisent et spatialisent 5 objets⁴ particuliers, qui correspondent aux secteurs où :

1. La pollution lumineuse n'impacte pas l'accomplissement du cycle de vie d'un maximum d'espèces des milieux boisés, ouverts, humides du littoral. Il s'agit de l'objet **réservoirs de biodiversité** de la Trame Noire.
2. La pollution lumineuse n'impacte pas l'accomplissement du cycle de vie d'un maximum d'espèces des cours d'eau. Il s'agit de l'objet **cours d'eau** de la Trame Noire.
3. La pollution lumineuse n'impacte pas les déplacements d'un maximum d'espèces entre les réservoirs de biodiversité. Il s'agit de l'objet **corridors écologiques** de la Trame Noire.
4. La pollution lumineuse impacte l'accomplissement du cycle de vie des espèces. Il s'agit de l'objet **obstacles** de la Trame Noire, qui nuisent au bon fonctionnement des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques.
5. Des actions de gestion de l'éclairage doivent être réalisés afin de préserver les réservoirs de biodiversité, les cours d'eau et les corridors existants et de restaurer l'obscurité sur les obstacles. Il s'agit de l'objet **actions** de la Trame Noire. Un extrait du guide Trame Noire est disponible ci-après et décrit très bien les principales recommandations pour la gestion de l'éclairage dans le cadre de la Trame Noire.

Le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 cadre la déclinaison des Trames et notamment demande :

- De rattacher les objets de la Trame à 5 grands types de milieux : boisés, ouverts, humides, cours d'eau et littoral.
- D'intégrer ou examiner l'intégration des zonages réglementaires et d'inventaires particuliers (exemple : arrêtés de protection des biotopes, Natura 2000, ZNIEFF...) aux objets de la Trame.
- De prendre en compte et d'affiner les objets de la Trame définies dans les documents de rangs supérieurs (exemple SRADDET).

³ Décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019, orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques

⁴ Prescriptions nationales pour la dématérialisation des Continuités Écologiques Régionales (CER) du 26 septembre 2018

- Que les objets de la Trame permettent d'intégrer les enjeux des grands groupes taxonomiques suivants : amphibiens, mammifères, reptiles, oiseaux, rhopalocères, orthoptères et odonates. Le guide Trame Noire préconise une expertise *a minima* sur les chiroptères, les insectes nocturnes, les oiseaux nocturnes, les mammifères terrestres et les amphibiens.

Pour répondre à cet objectif, le guide Trame Noire préconise de décliner les Trames Noires en suivant les étapes suivantes :

1. **Inventaire de l'éclairage artificiel et modélisation de la pollution lumineuse.** Cette étape doit permettre d'identifier, caractériser et spatialiser la pollution lumineuse.
2. **État des lieux du patrimoine naturel.** Cette étape doit permettre de synthétiser l'ensemble des données disponibles sur la biodiversité et de produire des indicateurs permettant de décliner les 5 objets de la Trame Noire.
3. **Identification d'une Trame Noire.** Cette étape doit permettre d'identifier, de caractériser et de spatialiser les réservoirs de biodiversité, les cours d'eau, les corridors écologiques et les obstacles de la Trame Noire. Elle doit permettre de les inscrire dans les documents de planification territoriale.
4. **Identification d'actions de gestion de l'éclairage** à mettre en œuvre afin de maintenir et restaurer l'obscurité. Cette étape doit permettre d'identifier les actions à mettre en œuvre et à inscrire dans les documents de planification territoriale.
5. **Proposition d'indicateurs de suivi et d'évaluation.** Cette étape doit permettre de fixer des indicateurs qui permettront à la collectivité d'évaluer ces politiques publiques.

4. LA TRAME NOIRE À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT DE LA REYSSOUZE



Soucieux de mieux comprendre son patrimoine naturel afin de le préserver, le Syndicat de Bassin Versant de la Reyssouze (SBVR) souhaite décliner une Trame Noire à l'échelle de son territoire.

En effet, le SBVR s'est doré-et-déjà doté d'une Trame Turquoise permettant d'observer la fonctionnalité écologique des milieux aquatiques et humides, et souhaite poursuivre son effort de compréhension et de préservation de la biodiversité. Riche de superficies de milieux naturels (boisés, bocagers, humides), de nombreux enjeux de cohabitation entre activités humaines et patrimoine naturel sont présent. La proximité d'agglomérations telles que Bourg-en-Bresse et Mâcon sont susceptibles de générer des conflits au niveau de l'éclairage nocturne.

La déclinaison de la Trame Noire a été réalisée en accord avec le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 adaptant les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques (politique Trame). Elle en reprend les impératifs et s'appuie sur les prescriptions nationales pour la dématérialisation des continuités écologiques régionales concernant les nomenclatures des objets et des attributs complémentaires

(milieux, objectif, actions). Ainsi, l'étude pour la définition de la Trame Noire s'inscrit pleinement dans la politique et les nomenclatures définie à l'échelle nationale.

TerrOïko a déjà participé à l'identification des zones à enjeux de biodiversité à travers la création de la Trame Turquoise. Son rôle dans la présente étude consiste à enrichir cette Trame Turquoise existante et à identifier de la Trame Noire sur le territoire, grâce aux données fournies notamment par DarkSkyLab.

Synthèse des recommandations sur la gestion de l'éclairage nocturne dans les continuités écologiques

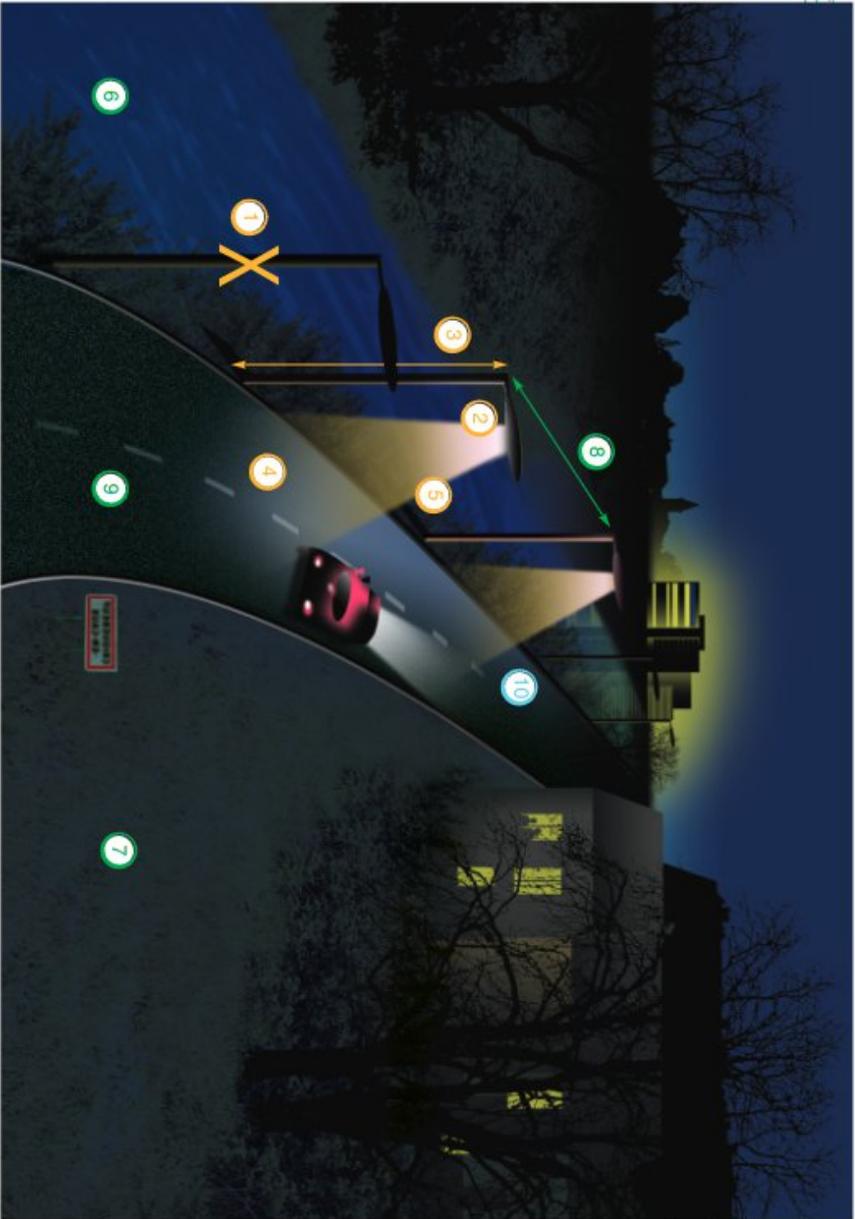


Illustration Béatrice Saurel pour CFS

Synthèse des différents axes de gestion de l'éclairage artificiel dans les continuités écologiques. Exemple de l'éclairage d'une route en entrée d'agglomération. Source : d'après Sordeilo, 2018 [46].

Caractéristiques des luminaires

- 1- Éviter ou supprimer les lampadaires inutiles
- 2- Angle d'orientation : ne diffuser aucune lumière au-dessus de l'horizontale
- 3- Hauteur des mâts : les plus bas possible pour diminuer leur repérage de loin par la faune
- 4- Éclairer strictement la surface utile au sol
- 5- Lumière émise : émettre une quantité de lumière la plus faible possible, au spectre le plus restreint possible et stable dans l'année, réduire au maximum l'éblouissement pour la faune

Organisation spatiale des points lumineux

- 6- Ne pas éclairer les cours d'eau
- 7- Ne pas éclairer les espaces naturels adjacents
- 8- Distance entre les lampadaires : maintenir des espaces interstitiels sombres pour les traversées de la faune
- 9- Revêtement du sol avec un faible coefficient de réflexion sous les éclairages

Dimension temporelle

- 10- Délai de présence
- Temporalié réduite au minimum : Heure d'allumage, heure d'extinction, durée d'allumage, variation dans l'année

- Rappels que d'après :
- l'article ministériel de décembre 2018 : « les émissions de lumière artificielle des installations d'éclairage extérieur et des éclairages intérieurs émis vers l'extérieur sont conçues de manière à prévenir, limiter et réduire les nuisances lumineuses, notamment (...) à la faune, à la flore ou aux écosystèmes » ;
 - l'article L371-1 du code de l'environnement, la TVB doit désormais tenir compte de « la gestion de la lumière artificielle la nuit » ;
 - les orientations nationales Trame verte et bleue, la TVB doit préserver « de la pollution lumineuse les continuités écologiques ».

Une démarche proactive de maintien et de restauration de l'obscurité doit donc être mise en place partout. Cela passe en premier lieu par une sobriété de l'éclairage qui ne se limite pas à une sobriété énergétique. Au sein et en direction des continuités écologiques, mais de manière générale pour tout espace naturel, cette démarche consiste notamment à :

- éviter l'implantation d'éclairage ;
- supprimer au maximum les points lumineux ;
- favoriser les éclairages passifs (bandes et plots réfléchissants, catadioptrés, etc.).

Certaines activités humaines particulières peuvent justifier exceptionnellement la présence d'éclairage au sein des continuités écologiques. Les caractéristiques et le fonctionnement des points lumineux devraient alors intégrer, au-delà du respect de la réglementation, l'ensemble des considérations suivantes :

- avoir une temporalité réduite au minimum, strictement nécessaire à l'activité humaine concernée, grâce à une démarche d'extinction et/ou de délais de présence, et tenant compte des rythmes de la biodiversité nocturne (quotidiens, saisonniers, plurisannuels) ;
- ne diffuser aucune lumière au-dessus de l'horizontale et réduire le « cône » de diffusion de la lumière pour limiter les flux proches de l'horizontale ;
- éclairer strictement la surface utile au sol (par exemple le cheminement) ;
- ne pas éclairer directement les surfaces aquatiques comme le demande la réglementation mais aussi, plus largement tout milieu naturel et habitat pour la biodiversité (végétation, arbres, cavités, etc.) ;
- émettre une quantité de lumière la plus faible possible ;
- produire une lumière au spectre le plus restreint possible et stable dans l'année (éclairage à vapeur de Sodium basse pression ou à vapeur de Sodium haute pression ou LED orange/rouge/bleu) ;
- ne créer aucun risque d'éblouissement pour la faune.

Ces préconisations peuvent s'appliquer aussi bien pour des éclairages privés que publics et quelle que soit la catégorie d'usage de l'éclairage (à ce titre, voir la Figure 52 pour l'exemple de l'éclairage d'une rue). Ces mesures peuvent aussi être appliquées et modulées en dehors des continuités écologiques dans le cadre d'une gestion différenciée de l'éclairage.

Figure 4. Illustration du guide Trame Noire concernant les recommandations pour la gestion de l'éclairage.

B. MÉTHODOLOGIE

1. LE TERRITOIRE D'ÉTUDE

La Trame noire a été déclinée à l'échelle du bassin versant de la Reyssouze, située au Nord de la région Rhône-Alpes. Les simulations ont été réalisées à l'intérieur d'une zone élargie incluant une bande de 2 km au-delà des limites de la ville. Cela permet de prendre en compte les connexions écologiques avec les territoires limitrophes, et d'éviter les « effets de bord » inhérents à la simulation.

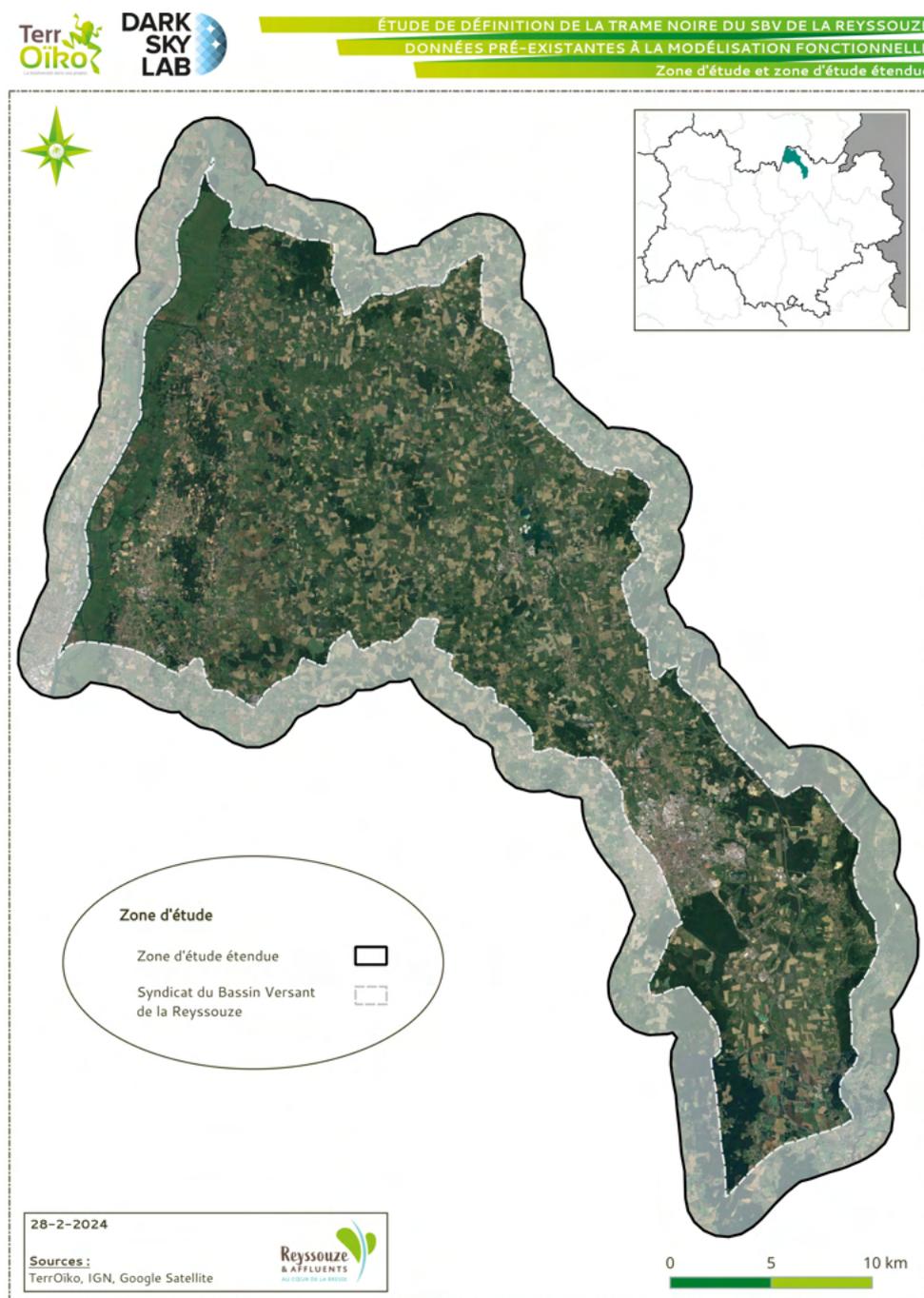


Figure 5. Description de la zone d'étude.

2. LA RECONQUÊTE DE LA NUIT

La Trame Noire s'inscrit dans une politique plus globale de « reconquête de la nuit » qui inclut également les économies d'énergies, la santé humaine, l'astronomie et plus généralement le cadre de vie des usagers du territoire.

Bien que ces éléments ne fassent pas partie à proprement parler de la Trame Noire, qui cible exclusivement l'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité, il est fondamental au départ de disposer *a minima* d'une bonne identification, caractérisation et spatialisation de la pollution lumineuse.

Dans le cadre de cette étude, cette partie a été réalisée par le bureau d'étude DarkSkyLab. Les résultats sont ensuite valorisés par TerrOïko pour caractériser l'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité.

3. QUANTIFIER L'ÉTAT DES LIEUX DU PATRIMOINE NATUREL

La déclinaison des objets d'une Trame Noire repose sur un état des lieux du patrimoine naturel. Dans notre esprit, l'état des lieux du patrimoine naturel n'est pas seulement un recensement des données disponibles sur la biodiversité. Il s'agit de fournir des outils d'aide à la décision aux élus et aux acteurs du territoire, leur permettant de planifier au mieux le développement territorial et le cadre de vie des usagers avec une connaissance objective des enjeux de biodiversité.

D'un point de vue pratique, l'état des lieux du patrimoine naturel nocturne est une opportunité :

- **De valoriser un ensemble de données sur la biodiversité en grande partie financée par les pouvoirs publics.** La compilation des données permet en outre de synthétiser les forces en présence en matière de connaissance et les lacunes encore existantes.
- **D'apporter de nouvelles connaissances notamment concernant l'impact de la pollution lumineuse sur la fonctionnalité des réseaux écologiques.**

Le tableau ci-dessous illustre l'éventail des typologies de données qui sont classiquement utilisées dans le cadre des déclinaisons de « Trame » à l'échelle nationale (avec l'exemple de ce que nous avons conduit pour Bordeaux Métropole).

Tableau 1. Illustration des typologies de données qui sont classiquement valorisées dans le cadre des missions « Trame ».

Structurelle	Zonages institutionnels	Inventoriale	Fonctionnelle	Avis d'experts
BD TOPO, BD Forêt, RPG, Corine Land Cover...	Trame Verte et Bleue, Natura 2000, RNF, APB, ZNIEFF...	Inventaires faunes et flores existants	Estimations des tailles des populations, trafic en individus...	
Où trouver la donnée?				

TerrOïko a mis en place une méthodologie permettant de valoriser l'ensemble des approches existantes en matière de politique Trame. Elle repose sur la réalisation d'une occupation du sol (approche structurelle) servant de base à la métrologie de la capacité des espèces à accomplir l'intégralité de leur cycle de vie (approche fonctionnelle, simulation de la vie des espèces). Les espèces cibles choisies pour les simulations sont sélectionnées d'après les observations naturalistes sur le territoire (approche inventoriale). Les objets de la Trame identifiés d'après les simulations sont croisés avec les zonages institutionnels (approche des zonages institutionnels) et également avec les inventaires naturalistes existants⁵ (approche inventoriale). Enfin, l'ensemble des résultats sont soumis à l'expertise des consultants de TerrOïko et des acteurs des territoires⁶.

⁵ Des inventaires complémentaires peuvent être réalisés à la demande du maître d'ouvrage pour affiner la compréhension des enjeux du territoire.

⁶ Suivant la volonté du maître d'ouvrage la concertation peut prendre une place plus ou moins importante dans l'étude. Les résultats peuvent ainsi être présentés seulement en COPIL, en COTECH ou alors sous la forme d'ateliers.

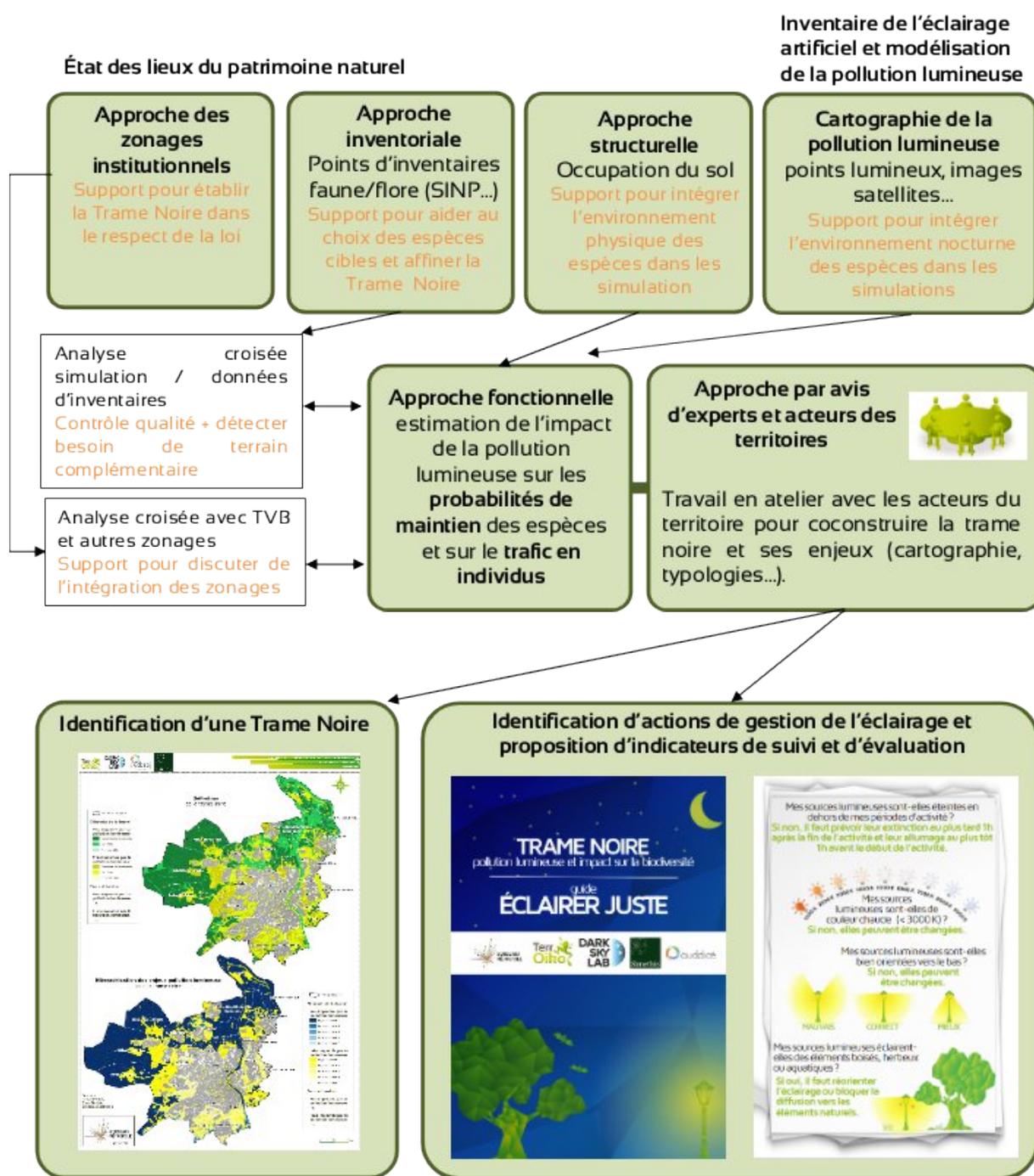


Figure 6. Illustration de la méthodologie mise en place par TerrOïko pour valoriser l'ensemble des données et ressources disponibles sur la biodiversité pour décliner les objets de la Trame Noire.

i. APPROCHE STRUCTURELLE

La répartition des espèces sur un territoire ainsi que leur capacité à accomplir leur cycle de vie dépendent des habitats disponibles. Le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 cadre de la déclinaison des Trames et demande *a minima* d'expertiser les milieux boisés, ouverts, humides, cours d'eau et littoral. Il demande également d'expertiser l'impact sur la capacité des espèces à accomplir leur cycle de vie de plusieurs facteurs de pression et notamment les infrastructures de transports, le bâti, les activités agricoles et sylvicoles. Aussi, dans un premier temps, il est nécessaire de disposer d'une définition structurelle de ces différents milieux et facteurs de pression.

Occupation du sol

Cette étape est appelée « approche structurelle ». D'un point de vue opérationnel, il s'agit de réaliser l'**occupation du sol** d'un territoire, de la manière la plus fiable et précise possible, en fonction des données existantes. L'occupation du sol a été intégrée comme base structurelle dans les simulations de la vie des espèces inféodées aux milieux boisés, ouverts et humides (voir ci-après « approche fonctionnelle »).

Cours d'eau

Les cours d'eau sont spécifiés comme un objet de la Trame Noire à part entière dans le guide Trame Noire. Actuellement, SimOïko n'intègre pas la faune piscicole. Aussi, seule une analyse structurelle a été réalisée sur les cours d'eau. Il est à noter que les cours d'eau sont en partie busés lors des traversées urbaines ce qui est un facteur de pression très important de fragmentation.

En l'état actuel des connaissances, une solution pragmatique et opérationnelle est de valoriser l'indicateur national de la pollution lumineuse de l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB). Ce dernier définit plusieurs classes liées à la luminance zénithale, métrologie de la **pollution lumineuse indirecte** (halo lumineux). C'est cette option qui est retenue pour la définition des niveaux d'enjeux et les objectifs de la trame noire. Les continuités et fonctionnalités écologiques des cours d'eau soumis au halo lumineux sont définies comme :

- **À préserver** lorsque que la luminance zénithale en extrémité de nuit est supérieure à 21,5 mag/arc² ;
- **À restaurer** lorsque que la luminance zénithale en extrémité de nuit est comprise entre 21 et 21,5 mag/arc² ;
- **À créer** lorsque que la luminance zénithale en extrémité de nuit est inférieure à 21 mag/arc².

Concernant la **pollution lumineuse directe**, émise par les points d'éclairage publics et privés éclairant directement les abords d'un cours d'eau, on définit trois seuils de distances, émanant de bibliographie scientifique reposant principalement sur des données

d'hétérocères et de chiroptères. Ainsi, on obtient une catégorisation de l'impact de l'éclairage direct sur les cours d'eau :

- **Majeur** lorsqu'une source lumineuse est présente à moins de 10 mètres ;
- **Fort** lorsqu'une source lumineuse est comprise entre 10 et 50 mètres de distance ;
- **Moindre** lorsqu'une source lumineuse est comprise entre 50 et 100 mètres de distance ;
- **Négligeable** lorsqu'une source lumineuse est présente à plus de 100 mètres.

ii. APPROCHE FONCTIONNELLE

D'après Sordello et al. 2014⁷, "En écologie comme ailleurs, il est donc nécessaire d'identifier avant tout quelle fonction une entité donnée doit remplir pour pouvoir se demander ensuite si cette entité est fonctionnelle ou non, si la fonctionnalité est assurée ou non. Il faut aussi définir vis-à-vis de quoi (espèce, groupe d'espèces...) l'entité doit remplir une fonction. Le même élément n'a pas la même fonctionnalité selon l'espèce considérée.". Le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 définit clairement la fonction des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques. Aussi, la Trame Noire nécessite de pouvoir caractériser et spatialiser l'impact de la pollution lumineuse sur la capacité des espèces à accomplir l'intégralité de leur cycle de vie.

Tableau 2. Définition de la fonctionnalité dans le cadre des politiques « Trame ».

	Fonction d'après la loi	Sordello et al. 2014	Besoins pour les collectivités
Réservoirs de biodiversité	Constituer des espaces dans lesquels la biodiversité, rare ou commune, menacée ou non menacée, est la plus riche ou la mieux représentée	« On s'intéresse alors au fait que cette entité surfacique répond ou non aux exigences écologiques d'une espèce sur le plan de sa reproduction ou de son alimentation par exemple »	S'intéresser à un large panel taxonomique . Les documents explicitent l'étude <i>a minima</i> des amphibiens, reptiles, mammifères, oiseaux, odonates, orthoptères, rhopalocères et poissons.
	Former des espaces où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos) et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement, en ayant notamment une taille suffisante. Ce sont des espaces pouvant abriter des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent , ou susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations d'espèces .		Estimer la capacité des habitats à permettre l'établissement de populations viables (taille des populations suffisamment grande pour obtenir un niveau de consanguinité acceptable et une probabilité d'extinction nulle). Les documents-cadres explicitent d'étudier <i>a minima</i> les habitats forestiers, ouverts, humides, aquatiques et littoraux.

⁷ SORDELLO R., ROGEON G. & TOUROULT J. (2014). La fonctionnalité des continuités écologiques - Premiers éléments de compréhension. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris. 32 pages.

Corridors écologiques	Les corridors écologiques assurent des connexions entre des réservoirs de biodiversité, offrant aux espèces des conditions favorables à leur(s) déplacement(s) et à l'accomplissement de leur cycle de vie	« On s'intéresse ici au fait qu'une structure support permette effectivement ou non le déplacement d'individus »	Estimer la capacité de la matrice paysagère à permettre la circulation des espèces entre les réservoirs (estimation du trafic en individus ou des flux de gènes).
----------------------------------	---	---	--



TerrOïko a développé SimOïko, une plateforme de modélisation de la vie des espèces qui permet pour la première fois d'analyser la connectivité fonctionnelle, tel que demandé par le décret n°2019-1400 du 17 décembre 2019 relatif à la politique Trame Verte et Bleue.

Concrètement, SimOïko reproduit sur ordinateur les processus à l'œuvre dans la vie des espèces (dynamique des populations, comportements, génétique). Une documentation technique sur les algorithmes utilisés par SimOïko pour reproduire la vie des espèces sur ordinateur est disponible en ligne (www.simoiko.fr/docs/service/book.pdf) ou via la thèse de Sylvain Moulherat (<http://thesesups.ups-tlse.fr/2668/>). Le réalisme des résultats de SimOïko a été éprouvé dans le cadre de nombreuses études menées depuis 2012 dans des Parcs Naturels Régionaux, Parcs Nationaux, EPCI et communes (voir nos références et <https://www.terroiko.fr/fr/realisations>).

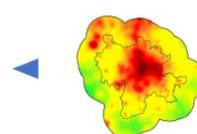
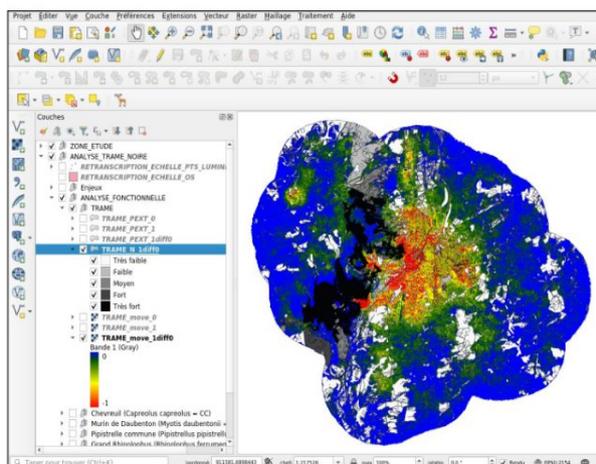
Impact cumulé de la luminance zénithale sur la fonctionnalité des continuités écologiques

Tailles des populations

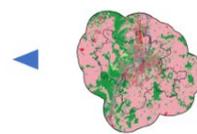
- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort

Trafic en individus

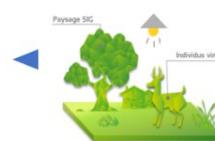
- Très fort
- fort
- Moyen
- Faible
- Très faible



Carte de la pollution lumineuse



Cartographie de l'occupation du sol

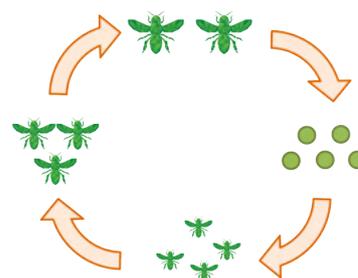


Informations sur les traits d'histoire de vie des espèces (survie, fécondité...)

Figure 7. Présentation simplifiée du fonctionnement du logiciel SimOïko utilisé pour caractériser l'impact de la pollution lumineuse sur la vie des espèces.

Quatre points essentiels sont à retenir sur les données prises en compte par SimOïko pour estimer la capacité des espèces à accomplir leur cycle de vie :

1. Chaque espèce a un **cycle de vie** potentiellement différent en termes de classes d'âges, fécondité, survie et dispersion. Ainsi, une chauve-souris a une fécondité limitée (en général pas plus d'un petit par an), une survie adulte importante et peut se déplacer loin, là où les papillons ont une progéniture importante, une survie à l'âge adulte de quelques mois et se déplacent un peu moins.



Le cycle de vie et les **traits d'histoire de vie** des espèces (fécondité, survie, dispersion, classe d'âge, etc.) ont une importance fondamentale pour la connectivité fonctionnelle des réseaux écologiques. Ainsi, SimOïko intègre les cycles de vie des espèces et l'ensemble des notions de dynamique des populations.

2. En absence totale de **compétition** ou de contraintes, les espèces ont une croissance exponentielle, c'est-à-dire qu'elles croissent indéfiniment. La compétition pour les ressources (**habitat, alimentation, reproduction**) limite la croissance des populations



Forte capacité biotique



Faible capacité biotique

principalement en diminuant la **survie individuelle**, la **fécondité** ou le **recrutement** de nouveaux individus. La **capacité biotique** (ou capacité de charge ou d'accueil) d'un habitat représente la taille maximale de la population d'une espèce qu'un milieu peut supporter. La capacité biotique est connue pour varier suivant la **qualité du milieu**, la disponibilité en **ressource alimentaire**, la présence de **prédateurs** ou de **parasites**. Ainsi, chaque typologie de la matrice paysagère peut avoir des capacités biotiques différentes et chaque patch d'habitat de même typologie peut également varier sur ses capacités biotiques. En conséquence, les algorithmes de SimOïko intègrent la compétition entre les individus (coefficient de compétition dérivé des estimations connues des densités de chaque espèce) et chaque élément de la matrice paysagère peut avoir des capacités biotiques différentes.

3. Chaque espèce a **une manière propre de se déplacer dans la matrice paysagère** ce qui a une influence importante sur la connectivité fonctionnelle des réseaux écologiques. Ainsi, une chauve-souris n'aura pas les mêmes comportements de déplacement qu'un chevreuil ou un papillon lorsqu'elle aura le choix entre suivre un linéaire d'arbre ou traverser un habitat ouvert. De même, une fois dans l'habitat, une chauve-souris n'aura pas les mêmes capacités à le franchir qu'un insecte au sol.

Les données structurelles compilées dans le cadre de l'étude peuvent être valorisées dans SimOïko pour modéliser l'influence du paysage sur les comportements de dispersion. Le simulateur des mouvements stochastiques (SMS) est valorisé⁸. Il

permet de reproduire le comportement de dispersion des individus à l'interface entre plusieurs typologies du paysage. Il permet également de reproduire la capacité des espèces à franchir les différentes typologies du paysage.

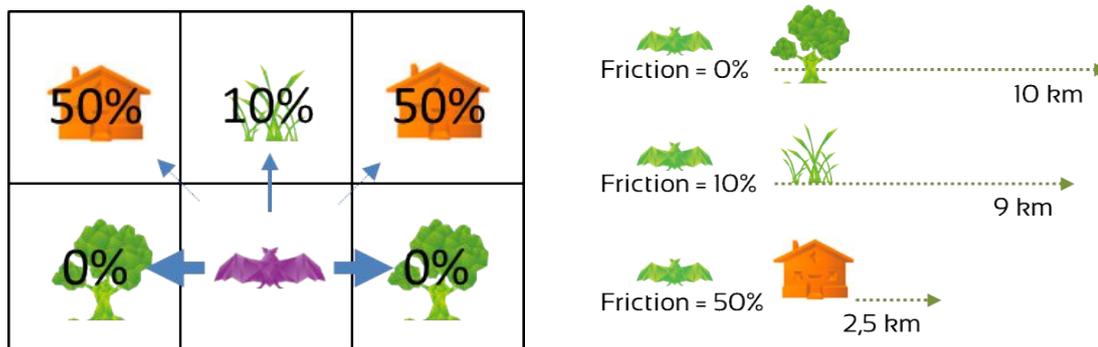


Figure 8. Illustration de la prise en compte du comportement des individus à l'interface entre plusieurs typologies du paysage (gauche) et illustration de la prise en compte de la capacité des espèces à franchir les différentes typologies du paysage (droite).

- Ainsi, une espèce dont la distance maximale parcourable est de 10 km pourra parcourir au maximum 10 km dans un milieu de friction = 0 %, 9 km dans un milieu de friction = 10 %, 5 km dans un milieu de friction = 50 %, 1 km dans un milieu de friction = 90 % et 0 km dans un milieu de friction = 100 %.
- Un individu aura une plus forte probabilité de passer dans un milieu de friction = 0 % si le milieu adjacent est de friction 50 %, plutôt que si ce milieu adjacent est de friction 10 %.

4. Les estimations des tailles des populations, des probabilités de maintien des populations et du trafic en individus résultent :

- De l'extraction des 50 premiers pas de temps des simulations (1 pas de temps correspond à une transition entre les différentes classes d'âges)
- De la compilation de 5 séries indépendantes de simulation.
- Les simulations ont été réalisées sur un paysage numérisé avec une maille de rasterisation de 25 m² (5 m x 5 m).

iii. APPROCHE INVENTORIALE

Le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 demande que l'identification des objets de la Trame soit réalisée en se basant sur une expertise des réseaux écologiques de plusieurs groupes taxonomiques et notamment les amphibiens, mammifères, reptiles, oiseaux, rhopalocères, orthoptères, odonates. Le guide Trame Noire préconise une expertise a minima sur les **chiroptères**, les **insectes nocturnes**, les **oiseaux nocturnes**, les **mammifères terrestres** et les **amphibiens**.

Depuis plusieurs années, un travail important de consolidation des bases de données d'inventaires naturalistes a été réalisée aux échelles nationale et régionale. Il s'agit de valoriser les nombreuses observations naturalistes dans le cadre de l'état des lieux du

patrimoine naturel. D'un point de vue opérationnel, notre approche inventoriale permet de valoriser données d'inventaires disponibles sur le territoire pour :

- Orienter le choix des espèces cibles de l'approche fonctionnelle ;
- Apporter un complément d'information sur l'identification des réservoirs de biodiversité :
 - En vérifiant que ces derniers couvrent bien les secteurs où la biodiversité est la plus riche et la mieux représentée ;
 - En rajoutant d'éventuels patchs d'habitats non répertoriés dans l'approche structurelle (ex : sous-trame thermophile lacunaire) mais où des espèces inféodées s'y retrouvent en fortes concentrations (ex : flore thermophile) ;
- Appliquer d'éventuelles distinctions de qualités entre des habitats structurellement proches, mais où les inventaires naturalistes détectent des différences marquées en termes d'abondance / présence ;
- Vérifier la congruence entre les estimations de la fonctionnalité des réseaux écologiques et la présence des espèces sur le territoire.

Il est à noter que les données d'inventaires ne sont pas toutes protocolées. De plus, l'absence de connaissances sur la pression d'inventaire rend difficile une déclinaison des objets de la Trame Noire en se référant à l'approche inventoriale. Néanmoins, cette donnée reste pertinente à valoriser en complément des autres approches.

Les données d'inventaire de la faune ont été prises en compte dans le cadre de la présente étude. Ces données sont issues des **bases de données AURA Biodiversité**, ainsi que les **inventaires naturalistes** (notamment chiroptères et odonates) **fournis par le SBVR**. Les données conservées pour cette étude correspondent à la période de 2014 à 2024.

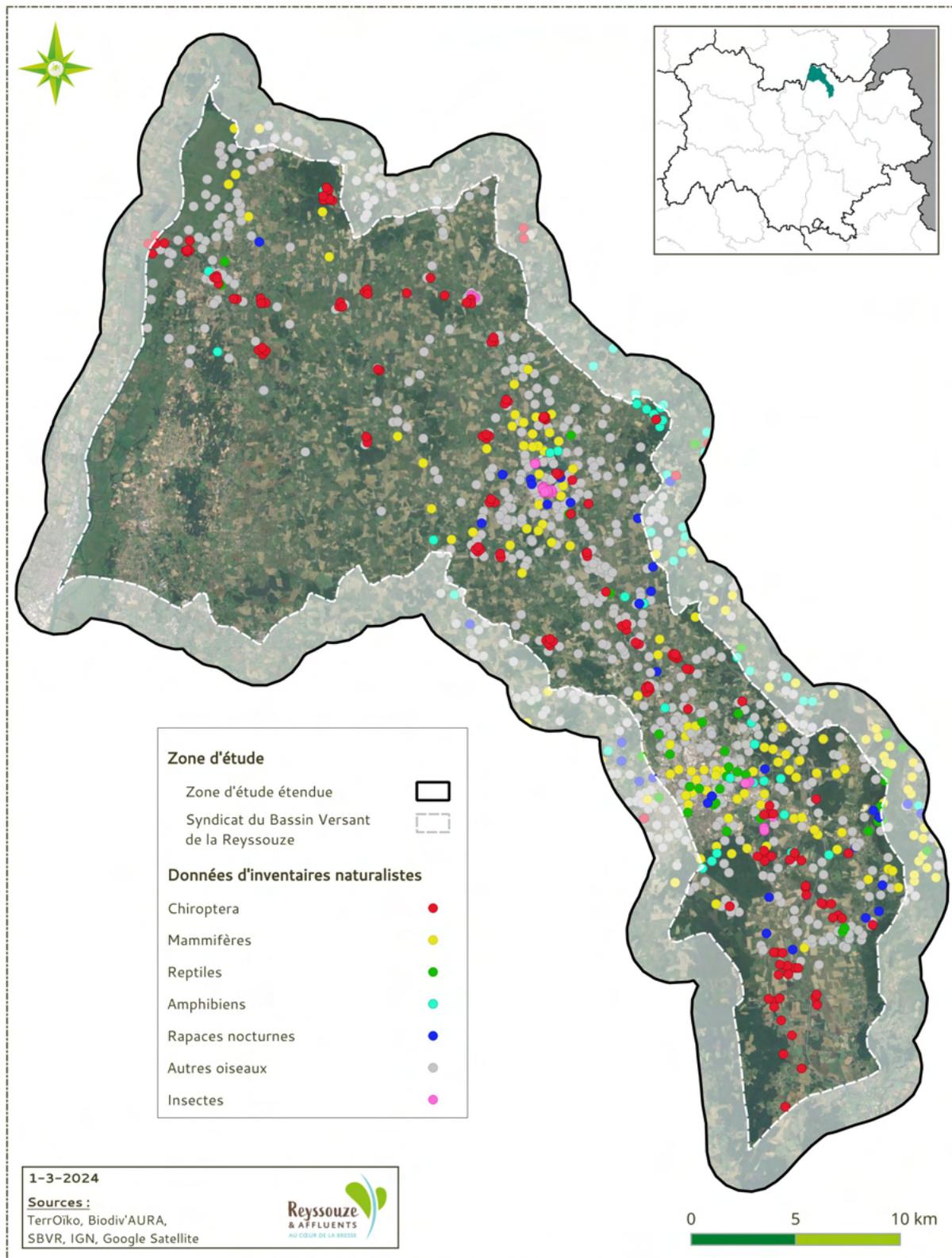


Figure 9 - Données d'inventaires valorisées dans le cadre de cette étude.

iv. APPROCHE DES ZONAGES INSTITUTIONNELS

Le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 demande également que certains zonages réglementaires soient intégrés obligatoirement comme des objets de la Trame (ex : cœurs de parcs ; arrêtés de protection des biotopes). L'intégration des autres zonages réglementaires ou d'inventaires comme objet de la Trame doit *a minima* faire l'objet d'un examen (exemple : Natura 2000, ZNIEFF...). Enfin, les objets de la Trame doivent être définis au regard des déclinaisons réalisés dans les documents de rangs supérieurs (exemple SRADDET).

Cette étape est appelée « approche des zonages institutionnels ». D'un point de vue opérationnel, il s'agit :

- De compiler les différents zonages existants sur le territoire.
- De croiser les différents zonages avec l'identification préalable des objets de la Trame d'après les approches structurelles et fonctionnelles pour en vérifier la bonne prise en compte et pour justifier de leur intégration.

Le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 cadre de la déclinaison des Trames et demande notamment que la spatialisation des objets de la Trame intègre et/ou examine certains zonages institutionnels et soient définis au regard des déclinaisons réalisées dans les documents de rangs supérieurs. Dans le cadre de cette mission, les zonages suivants ont été valorisés :

- Les zonages réglementaires
- Les zonages d'inventaires
- La TVB régionale (SRADDET)

Conformément au décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019, les objets de la Trame ont été identifiés et spatialisés en intégrant et/ou examinant les zonages institutionnels mentionnés ci-avant.

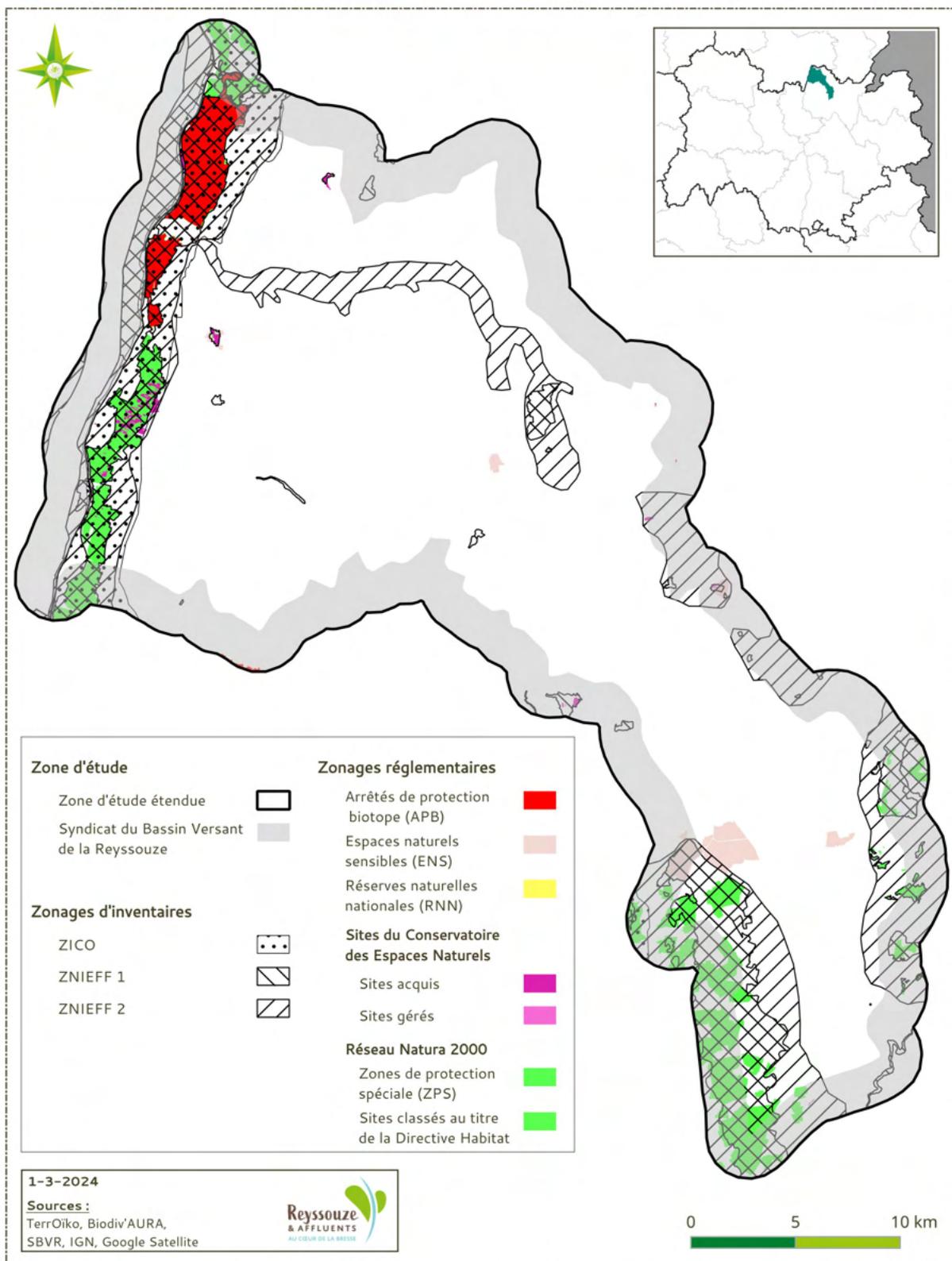


Figure 10. Cartographie des zonages réglementaires et d'inventaire.

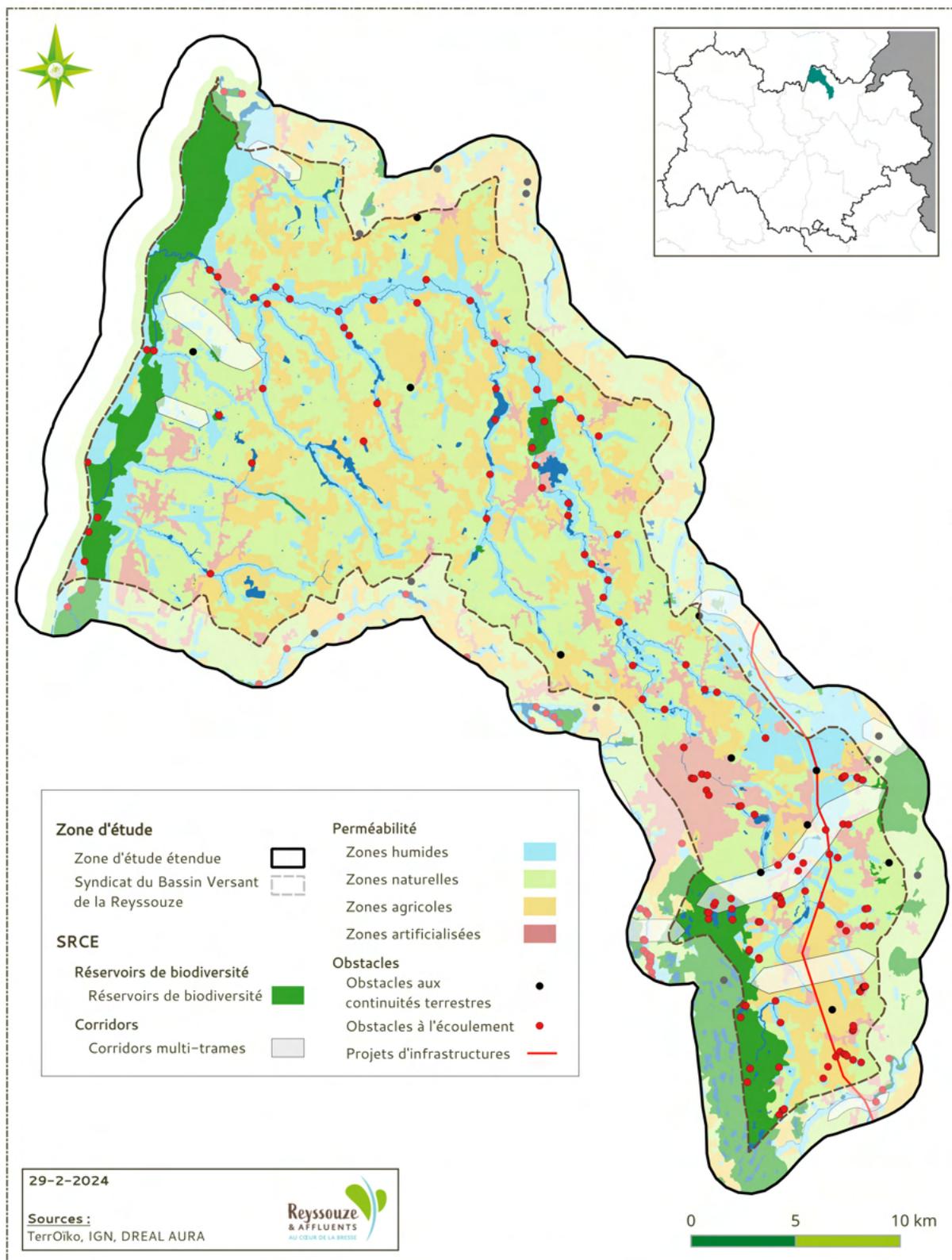


Figure 11. Cartographie de la Trame Verte et Bleue Régionale (SRCE).

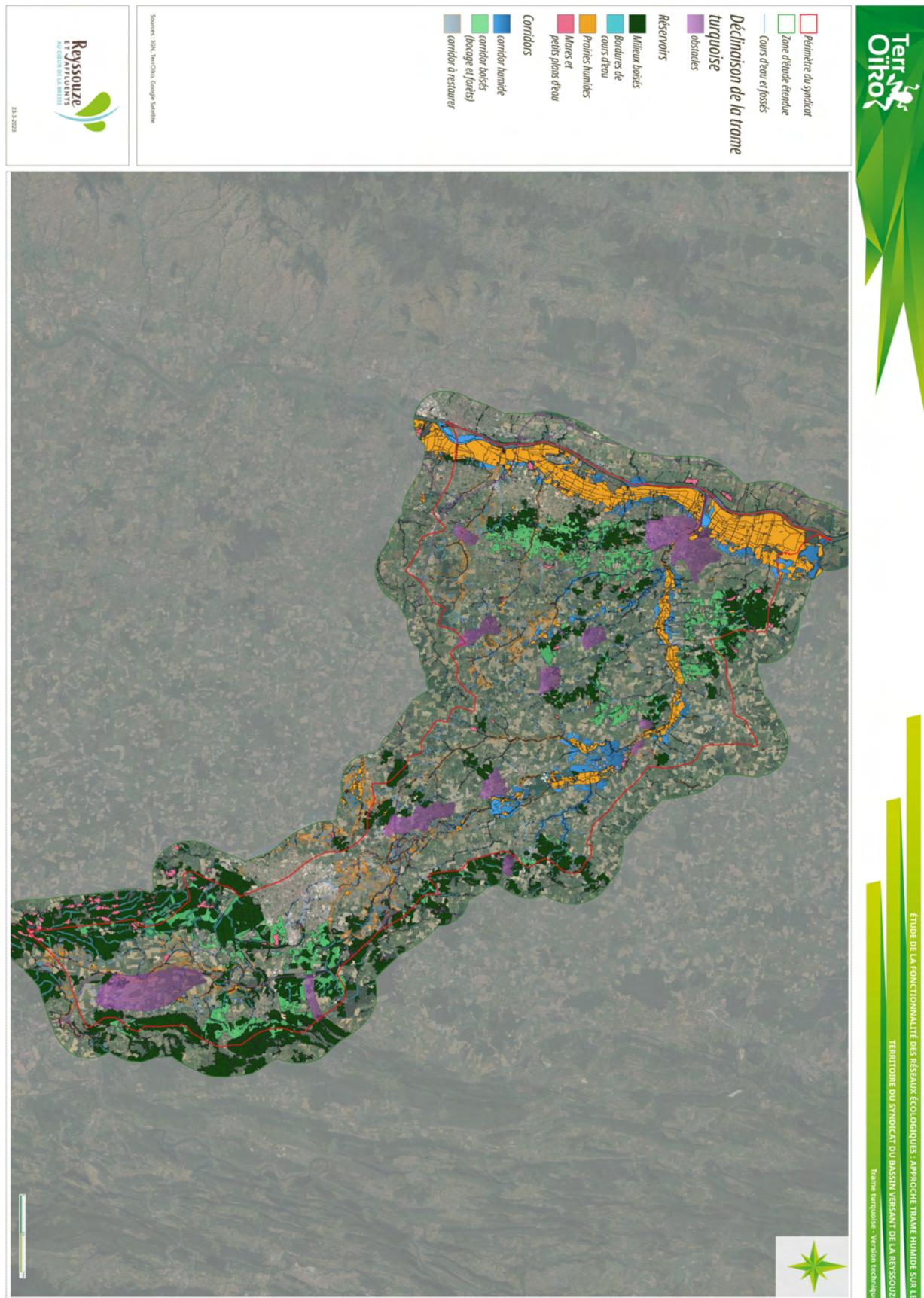


Figure 12. Cartographie de la Trame Turquoise de 2022.

4. LA CARTOGRAPHIE FINALE

À l’instar de la Trame Verte et Bleue, la Trame Noire vise à spatialiser des enjeux de biodiversité sur les territoires. Les cartographies réalisées dans le cadre de cette étude sont disponibles dans un projet QGis, livré en fin de mission au Syndicat de Bassin Versant. Les cartes présentes dans le rapport servent juste d’illustration et sont également transmises en format pdf qui permet de moins compresser les informations, et png pour une consultation plus aisée.

5. INVENTAIRE DE L’ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL ET MODÉLISATION DE LA POLLUTION LUMINEUSE

Cette phase de l’étude bénéficie d’un rapport spécifique produit par DarkSkyLab qui inclut :

- a. L’analyse des données de points lumineux d’éclairage public (pollution lumineuse directe)
- b. Une cartographie de la radiance satellite en haute et basse résolution (pollution lumineuse directe).
- c. Une modélisation et cartographie de la pollution lumineuse diffuse en cœur et en extrémité de la nuit (halo lumineux).

Le rapport de DarkSkyLab permet d’aborder l’inventaire de l’éclairage artificiel et la modélisation de la pollution lumineuse sous l’angle général de la reconquête de la nuit. Concernant l’impact sur la biodiversité, un travail supplémentaire a été réalisé par TerrOïko et constitue la phase « identification d’une trame noire ».

La pollution lumineuse à l’échelle du territoire apparaît particulièrement importante dans quelques ensembles urbains (Mâcon et Bourg-en-Bresse et leurs périphéries) et axes majeurs (A6 et D933 à l’Ouest, le long de la Saône, D975 selon l’axe Nord-Ouest / Sud-Est). On note très peu de zones d’obscurité, ce qui pose des enjeux écologiques de conservation de la biodiversité. En effet, la luminosité nocturne est susceptible d’y constituer un obstacle au maintien des populations ainsi qu’aux continuités écologiques.

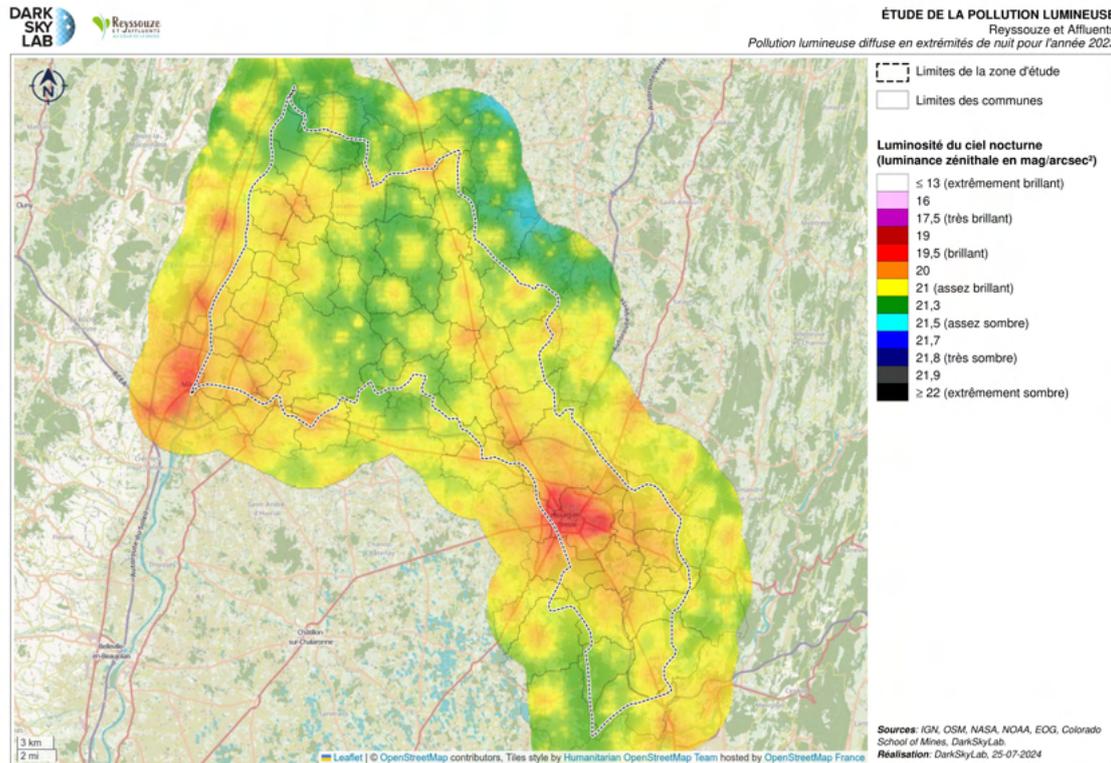


Figure 13. Illustration de la luminance zénithale en extrémité de nuit disponible dans le rapport d'étude de DarkSkyLab. La majeure partie de la biodiversité du territoire est soumise à une luminosité importante et il n'existe que peu de secteurs où la luminosité du ciel nocturne est assez sombre.

Une fois ce constat général réalisé, il est possible d'affiner la localisation des points lumineux les plus problématiques au niveau de la pollution lumineuse directe. Pour cela, il s'agit d'identifier les points lumineux qui nuisent le plus à l'accomplissement du cycle de vie et aux mouvements des espèces.

Dans le cadre de cette étude, il a été choisi de valoriser à la fois les points lumineux d'éclairage public et les autres sources de radiance détectées par les images satellites hautes-résolutions. Ces facteurs de pression ont été intégrés directement comme un coût, venant réduire les capacités biotiques des habitats et les choix de dispersion des espèces dans SimOïko. L'emprise des sources des radiances haute résolution ainsi qu'une zone de 20 mètres autour des points lumineux (ou la luminance zénithale arbitrairement fixée à 17, une valeur très élevée) ont été considérés comme des secteurs où la pollution lumineuse réduit totalement les capacités biotiques des espèces ainsi que leur mouvement.



ÉTUDE DE DÉFINITION DE LA TRAME NOIRE DU SBV DE LA REYSOUZE

DONNÉES PRÉ-EXISTANTES À LA MODÉLISATION FONCTIONNELLE

Pollution lumineuse du territoire

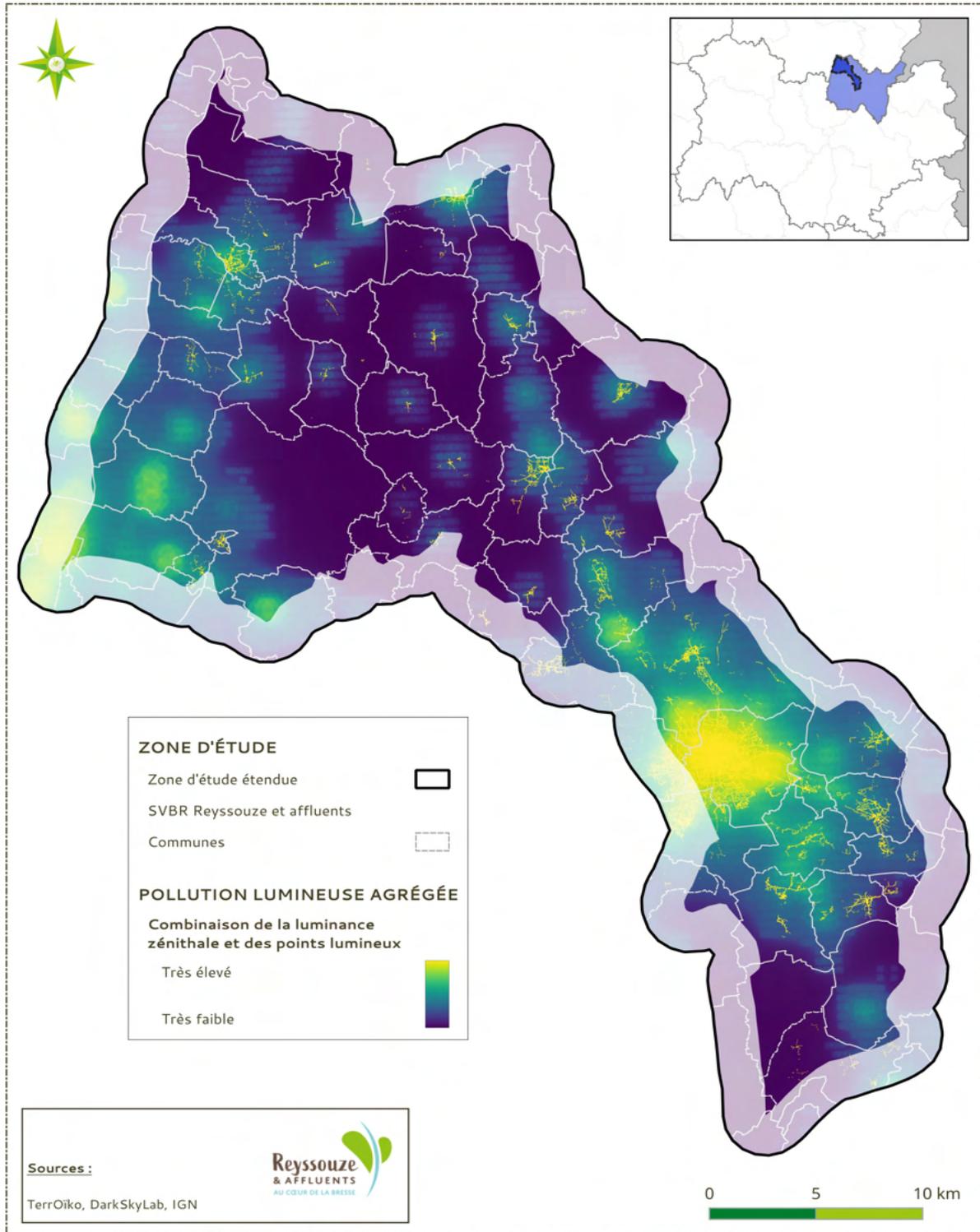


Figure 14. Illustration de la pollution lumineuse agrégée sur le territoire (combinaison des points lumineux connus et de la luminance zénithale). Une zone tampon de 20 mètres autour des points lumineux a été considéré comme impactant totalement les capacités biotiques et les mouvements des espèces dans SimOïko. Les seuils de luminance zénithale correspondent à ceux décrits par DSL

6. IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LES ÉLÉMENTS DE LA TRAME

Des ateliers ont été réalisés avec les acteurs du territoire pour réfléchir à l'impact de la pollution lumineuse sur la fonctionnalité à l'échelle du territoire du SBVR. Les commentaires et retours ont été intégrés à la déclinaison de la Trame. Certains résultats ont été modifiés, suite à des informations apportées par les participants : incongruence avec la réalité du territoire, projets d'aménagements futurs, ou projets de renaturation. De plus, les éléments dégradés ont commencé à être dessinés, et les obstacles identifiés.



Les retours ont été digitalisés directement dans les couches SIG d'interprétation. Il est normal que les résultats bruts n'aient pas été corrigés.



En parallèle, le raster de luminance zénithale (LZ) enrichi des points lumineux, a été recatégorisé de manière à identifier des zones soumises à des degrés de pollution lumineuse similaires :

Tableau 3 : Catégorisation de la pollution lumineuse (selon l'ONB⁹). Les cases grisées n'existent pas dans la qualification de l'ONB. ^a : Catégorie rajoutée par TerrOïko pour signifier l'intensité localement au pied d'un lampadaire.

Luminance zénithale DSL (radiance + points lumineux)	Catégorisation en seuils de pollution lumineuse	Qualification ONB	
		Qualité du ciel correspondante	Pollution lumineuse
LZ ≤ 17,5	1 ^a	Sous un lampadaire ^a	
17,5 < LZ ≤ 19	2 / 3 / 4		
19 < LZ ≤ 19,5	5	Très brillant	Élevée
19,5 < LZ ≤ 20	6	Brillant	
20 < LZ ≤ 20,5	7	Fortement lumineux	
20,5 < LZ ≤ 21	8	Lumineux	
21 < LZ ≤ 21,5	9	Peu sombre / Assez sombre	Moyenne
21,5 < LZ	10	Sombre / Très sombre	Faible

Après l'étude de la diminution de fonctionnalité au niveau des réservoirs et des corridors (en ateliers notamment) un croisement a été effectué avec l'intensité de la pollution lumineuse. Le choix a été fait d'arrêter un seuil de dégradation à 20,5 (ou catégorie 7, voir Tableau 3), correspondant à un ciel « fortement lumineux ». En effet, en sélectionnant ce seuil, on retrouve l'ensemble des secteurs présentant une diminution de fonctionnalité liée à la pollution lumineuse. Ainsi, les éléments de la trame soumis à une pollution lumineuse inférieure à 20,5 (catégories 7 et moins) ont été catégorisés comme dégradés. Seuls les éléments déjà non fonctionnels (habitats connexes et corridors peu fonctionnels) n'ont pas été intégrés. Effectivement, des actions visant à remédier à l'impact de la pollution lumineuse localement ne suffiraient pas à améliorer sensiblement leur fonctionnement. D'autres types d'action, comme des programmes de renaturation, seraient nécessaires en premier lieu.

⁹ <https://naturefrance.fr/indicateurs/proportion-du-territoire-metropolitain-fortement-impacte-par-la-pollution-lumineuse-en>

C. ÉTAT DES LIEUX DU PATRIMOINE NATUREL

1. APPROCHE STRUCTURELLE : COMPILATION DES DONNÉES SUR LA DESCRIPTION PHYSIQUE DES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE.

La répartition des espèces sur un territoire ainsi que leur capacité à accomplir leur cycle de vie dépendent des habitats disponibles. La politique Trame Verte et Bleue demande *a minima* d'apporter une caractérisation des milieux boisés, ouverts, humides et cours d'eau. Dans le cadre de la définition d'une trame turquoise, cette caractérisation se concentre sur l'espace fonctionnel nécessaire au développement de la biodiversité aquatique et humide. La description de ces milieux au regard des enjeux de pollution lumineuse est fondamentale dans le cadre de la Trame Noire.

Les territoires sont en mouvement et il n'existe pas d'occupation du sol parfaite représentant l'état paysager d'un territoire en temps réel. Néanmoins, divers programmes financés par l'État, les Régions et les collectivités territoriales permettent de disposer d'un grand nombre de données sur l'occupation du sol des territoires. L'enjeu de cette étape était de les compiler dans une seule et même **occupation du sol** permettant de représenter au mieux le paysage, tel que les espèces le perçoivent.

Un des premiers objectifs de l'approche structurelle est de spatialiser les habitats du territoire (voir carte ci-dessous). **Ce dernier est composé en grande partie de milieux ouverts ou semi-ouverts type prairies-bocages (27 %) et boisés (20%).** Le territoire présente également un **réseau hydrographique important (2,8 % de surfaces en eau, et plus de 12% de zones à potentiel humide)**, autour duquel s'articule le territoire du SBVR.

Il existe divers facteurs anthropiques qui peuvent impacter la vie des espèces en plus de la pollution lumineuse. Par exemple, plusieurs grands axes routiers bloquent le déplacement de la faune terrestre, quel que soit le niveau de pollution lumineuse existant. **Les éléments urbains représentent 12 % du territoire** et il était nécessaire de caractériser leur effet sur la fonctionnalité des continuités écologiques au regard de la pollution lumineuse.

Dans le cadre de la Trame Noire, l'occupation du sol peut être directement croisée avec la cartographie de la pollution lumineuse. Néanmoins, cette approche ne répond pas aux enjeux de fonctionnalité. Aussi, l'approche choisie ici a été d'intégrer cette occupation du sol à l'outil SimOïko comme base structurelle, dans laquelle les espèces peuvent ou non réaliser leur cycle de vie suivant leurs traits d'histoires de vie et leur interaction avec la pollution lumineuse.

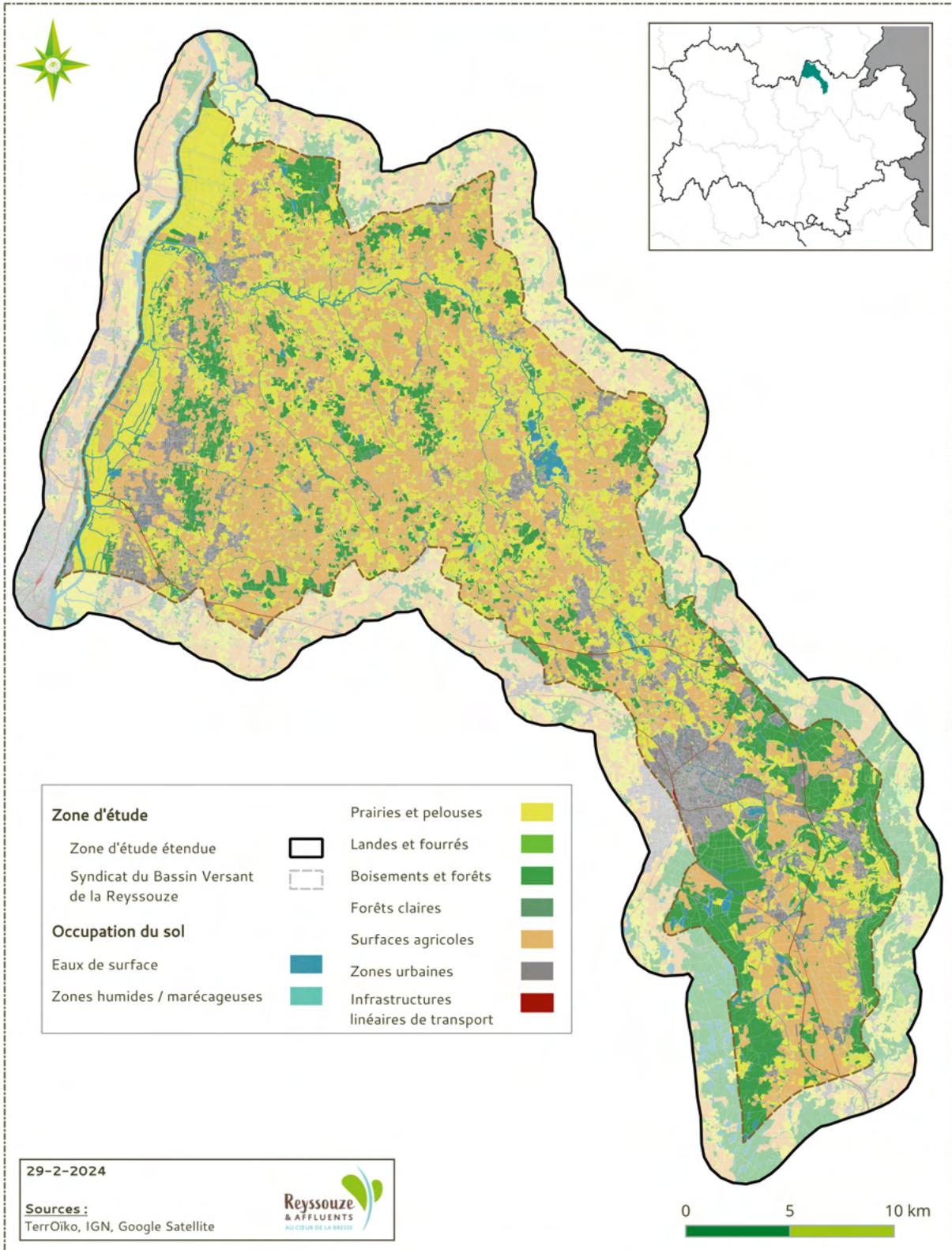


Figure 15. Cartographie de l'occupation du sol par sous-trame.

2. APPROCHE FONCTIONNELLE : ESTIMATION DE L'IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LE MAINTIEN ET LES MOUVEMENTS DES ESPÈCES

i. PRÉAMBULE SUR L'UTILISATION DES RÉSULTATS DES SIMULATIONS AVEC SIMOÏKO

L'article L. 371-2 du code de l'environnement définit les réservoirs de biodiversité comme « des habitats qui permettent aux espèces d'accomplir l'intégralité de leur cycle biologique ». En accord avec cette définition, SimOïko établit une hiérarchisation des habitats en fonction de leur **capacité à permettre le maintien d'une population viable dans le temps**. Cette donnée est fournie pour chaque espèce simulée. Elle constitue une première source de données à valoriser dans le cadre des politiques biodiversité du territoire.

Tableau 4. Légende et interprétation de l'estimation de la probabilité de maintien qui sert à caractériser la fonctionnalité des réservoirs de biodiversité.

Probabilité d'extinction	Couleurs associées	Interprétation	
		Fonctionnalité	Objets de la TVB
0		Ce patch d'habitat maintient une population stable qui est source d'individus dispersants pour le réseau écologique.	Réservoirs de biodiversité fonctionnels
Entre 0 et 1		Ce patch d'habitat est sujet à des épisodes d'extinction (absence d'individus en son sein). Il est peu fonctionnel en tant qu'habitat au sein duquel l'espèce peut réaliser son cycle de vie et est souvent très dépendant du réseau local pour se maintenir dans le temps.	Réservoirs de biodiversité non fonctionnels. Le patch peut faire partie d'un corridor en pas japonais, être un habitat relais ou un habitat connexe de la TVB.
1		Ce patch d'habitat ne maintient pas d'individus dans son sein, ou seulement de manière extrêmement sporadique. Il est non fonctionnel en tant qu'habitat au sein duquel l'espèce peut réaliser son cycle de vie.	

L'article L. 371-2 du code de l'environnement définit les corridors écologiques comme des « structures paysagères qui permettent aux espèces de circuler entre les réservoirs de biodiversité ». En accord avec cette définition, SimOïko établit une hiérarchisation des secteurs du paysage en fonction des **déplacements simulés des individus ayant dispersé d'un patch d'habitat à un autre et ayant réussi à s'y installer** (carte du trafic, exprimé en nombre de passages d'individus par unité de temps et de surface). Cette donnée est fournie pour chaque espèce simulée. Elle constitue une deuxième source de données à valoriser dans le cadre des politiques biodiversité du territoire.

Tableau 5. Légende et interprétation de l'estimation du trafic en individus qui sert à caractériser la fonctionnalité des corridors écologiques.

Trafic en individu	Couleurs associées	Interprétation	
		Fonctionnalité	Objets de la TVB
Un passage par mois (3000)		Forte	Corridor très fonctionnel
Un passage par an (250)		Modérée	Corridor fonctionnel
Un passage tous les 4 ans (62,5)		Faible	Corridor peu fonctionnel, potentiel obstacle
Aucun passage (0)		Aucune	Corridor non fonctionnel, potentiel obstacle

La Trame Noire nécessite de caractériser l'impact de la pollution lumineuse sur la capacité des espèces à accomplir l'intégralité de leur cycle de vie. SimOïko permet ainsi d'établir un classement de l'impact de la pollution lumineuse sur les probabilités de maintien des populations et sur le trafic en individus, grâce à une différence entre les simulations sans et avec prise en compte de la pollution lumineuse.

Dans le cadre de cette étude, SimOïko a été utilisé pour expertiser l'impact de la pollution lumineuse sur les groupes taxonomiques décrits dans le tableau ci-dessous. Ce choix résulte de l'analyse des inventaires disponibles sur la zone d'étude, des recommandations du guide trame noire et de l'expertise des acteurs du territoire et du groupement.

Tableau 6. Description des espèces ou guildes d'espèces cibles des simulations avec SimOïko.

Cohérence nationale			Maximiser l'hétérogénéité			Affinité aux différents milieux des sous-trames		
Sous-trames	Gilde Trame Noire		Cycle de vie	Dispersion	Densité	Milieux boisés	Milieux ouverts	Milieux humides
	Guilde	Exemple d'espèce						
Milieux boisés	Chiroptères	Murin de Daubenton	2 classes	Aérienne très forte	Faible	+++	+	+++
Milieux ouverts	Passereaux bocagers	Pie grièche écorcheur	2 classes	Aérienne moyenne	Faible	+	+++	+
Milieux humides	Odonates	<i>Oxygastra curtisii</i> , <i>Anax</i>	2 classes	Terrestre faible	Forte	+	+++	+
	Petits mammifères bocagers	Campagnol agreste, musaraigne pygmée,	2 classes	Terrestre faible	Inter-médiaire	++	+++	++
	Amphibiens anoures	Sonneur à ventre jaune, grenouille verte	2 classes	Terrestre faible	Faible	+++	+	+++
	Oiseaux d'eau	Bécassine des marais	2 classes	Aérienne forte	Faible	+	+	+++

ii. MODÉLISATIONS SUPPLÉMENTAIRES POUR AFFINER LA TRAME TURQUOISE

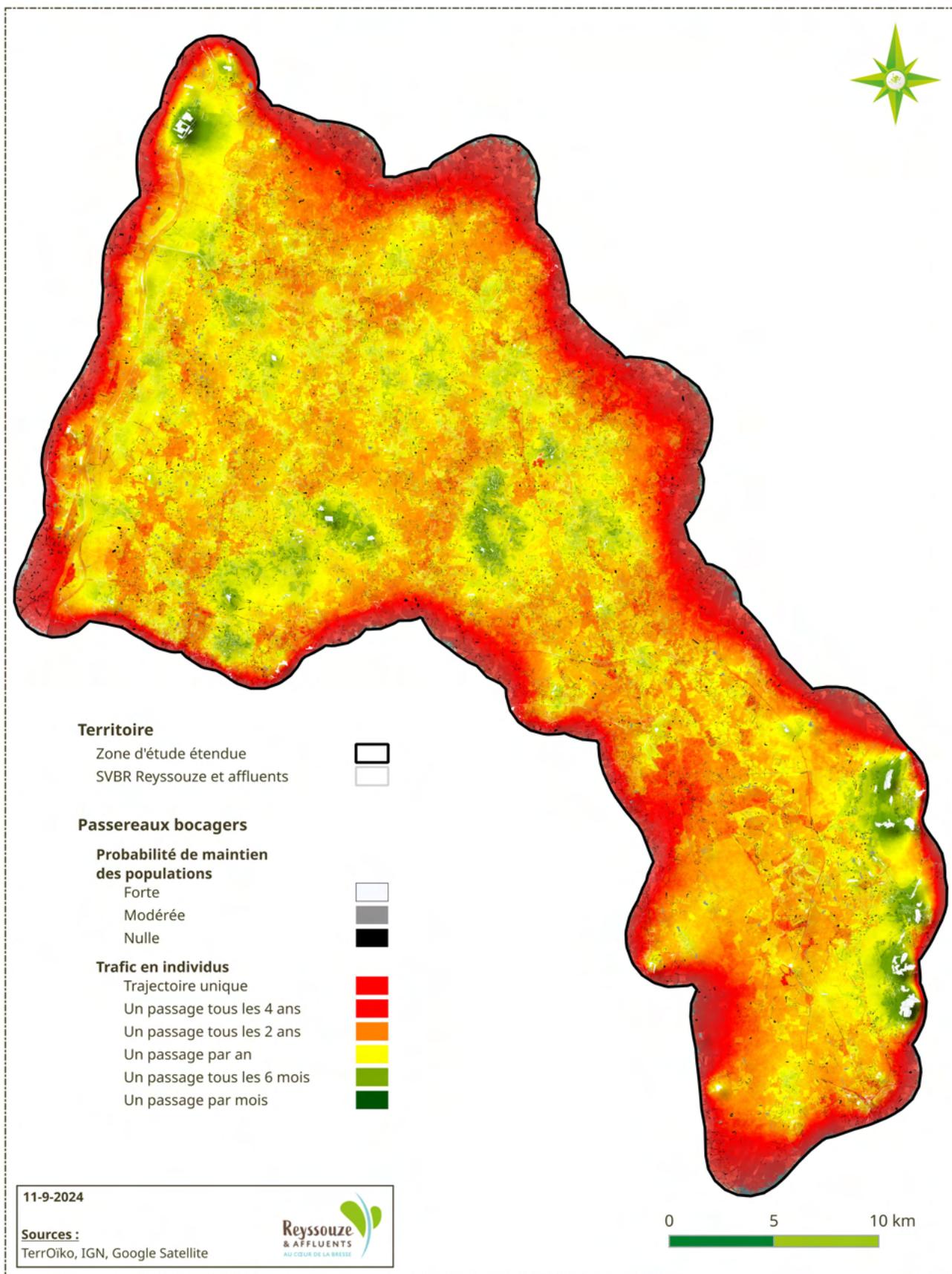
La Trame Turquoise est composée de nombreux types d'habitats différents, s'organisant en un ensemble fonctionnel autour de la Trame Bleue. Inclusion de nouvelles guildes d'espèces, qui diffèrent des précédentes en terme de comportements de dispersions et de préférences d'habitats, permet d'aboutir à une meilleure représentativité de cette Trame Turquoise. Les résultats de SimOïko permettent ainsi d'affiner la Turquoise précédemment identifiée.

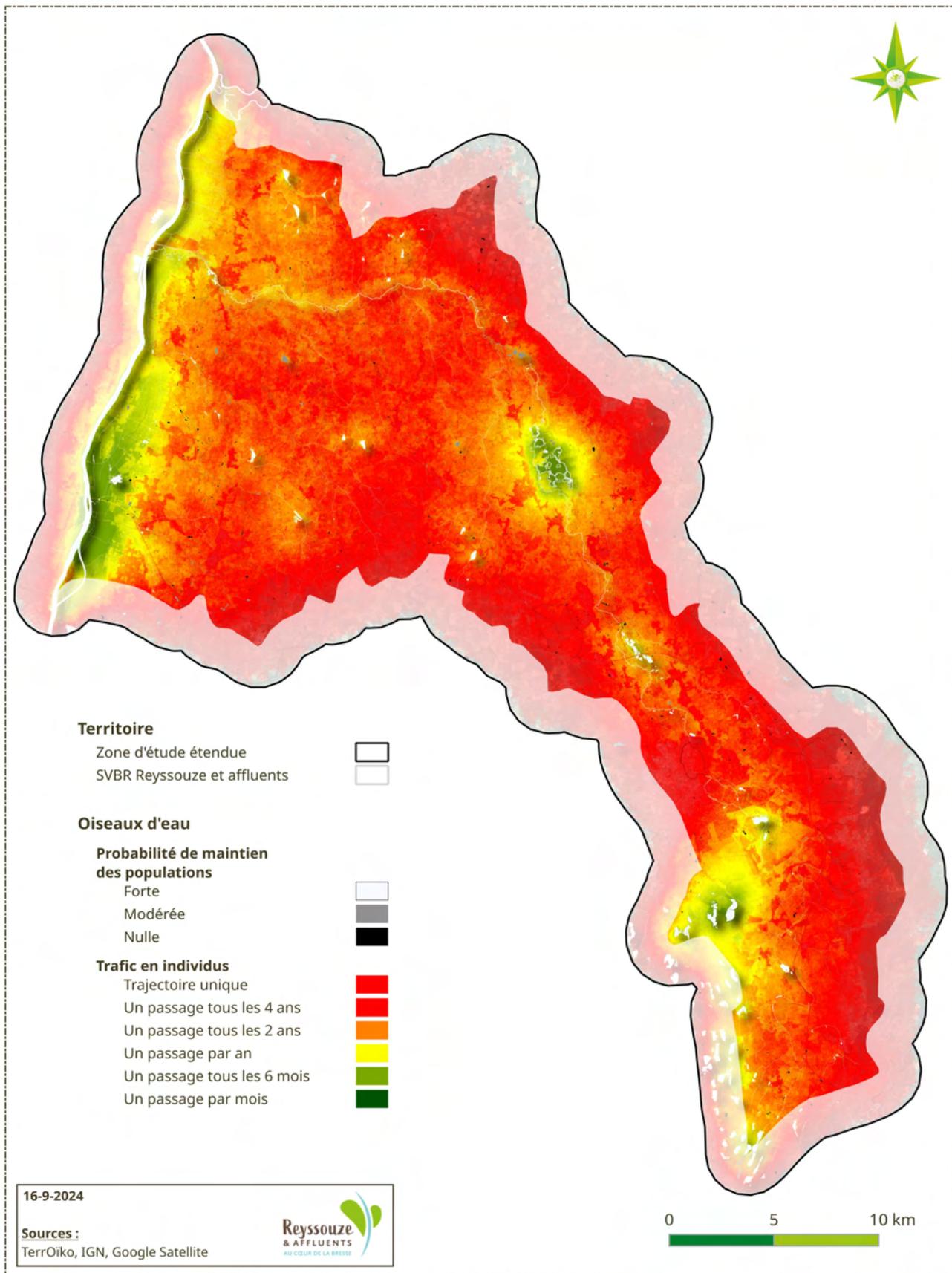
Les passereaux bocagers dispersent sur l'intégralité du territoire, et peuvent notamment s'éloigner des cours d'eau en suivant les éléments bocagers de la matrice paysagère. L'inclusion dans nos simulations permet de faire ressortir la fonctionnalité de ces éléments dans la Trame Turquoise. Les autres espèces, inféodées aux milieux humides, font ressortir les milieux humides et aquatiques. Pour les passereaux bocagers, on identifie quelques zones particulièrement fonctionnelles, notamment aux interfaces entre milieux boisés et bocagers à l'Est et à l'Ouest de Saint-Sulpice et Saint-Didier-d'Aussiat, au Nord du territoire au niveau de Farges-lès-Mâcon le long de la Saône, ou encore dans les forêts ouvertes à l'Est et au Sud-Est de Bourg-en-Bresse.

Les oiseaux d'eaux présentent un profil de fonctionnalité différent, restreint aux différentes eaux de surfaces, particulièrement lorsqu'elles sont bien connectées entre elles. C'est évidemment le cas de la Saône et tout le long de la Reyssouze, mais quelques complexes de lacs et étangs ressortent également, tels que ceux de Malafretaz et l'ensemble au Sud de Bourg-en-Bresse. Avec des informations précises sur les qualités de ces lacs et étangs (et donc les capacités d'accueil pour les populations ciblées), le diagnostic pourrait être affiné.

Enfin, les petits mammifères des bocages humides se retrouvent essentiellement le long de la Saône et la Reyssouze (résultats présentés dans la partie suivante sur la Trame Noire). Des berges riches en milieux naturels complexes garantissent des populations importantes, mais la connectivité de ces populations pourrait être problématique localement, notamment avec les cœurs de village où les berges peuvent être parfois fortement artificialisées.

À l'exception des petits mammifères des bocages humides, les nouvelles espèces et guildes considérées dispersent sur de grandes distances par voie aérienne. Ainsi, les différents éléments fragmentants – autoroute A40 et D975 notamment – ne constituent pas des obstacles majeurs à la connectivité de ces populations.

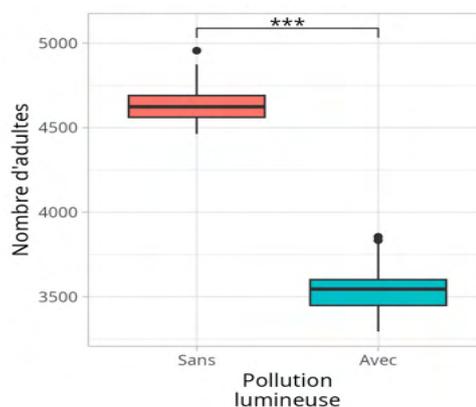
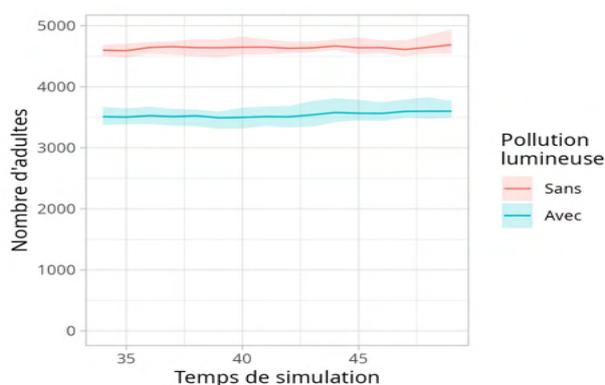




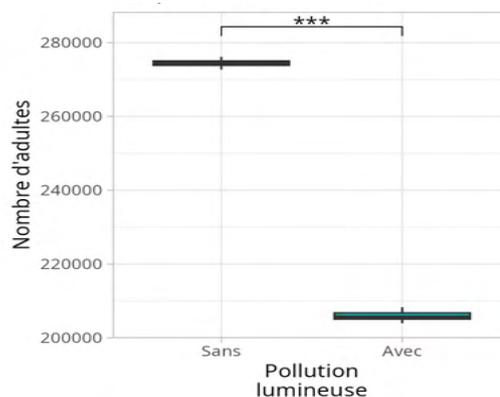
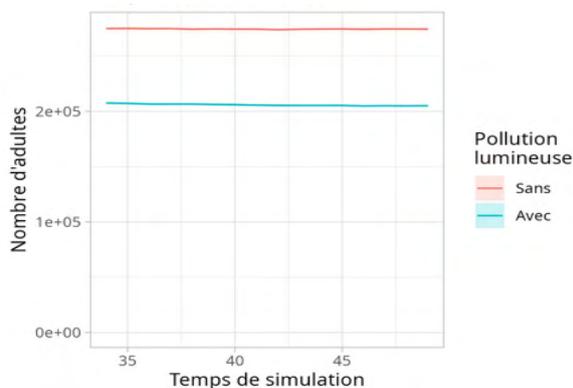
iii. IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LA FONCTIONNALITÉ DES ESPÈCES DE LA TRAME TURQUOISE

D'après les modélisations fournies par SimOïko, les habitats humides fonctionnels permettant aux amphibiens anoures, au Murin de Daubenton, aux Odoantes et aux Petits mammifères d'accomplir leur cycle de vie, se répartissent sur l'ensemble du territoire. Cependant, les résultats montrent que la pollution lumineuse vient réduire la taille de l'ensemble des populations des espèces et guildes de la Trame Turquoise de manière importante (voir figures ci-dessous). C'est le cas pour le Murin de Daubenton (~ - 24 %), les amphibiens anoures (~ - 25 %), les odonates (~ - 24 %) et les petits mammifères bocagers (~ - 22 %).

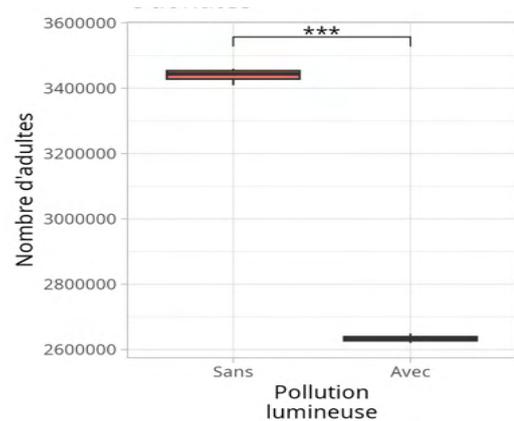
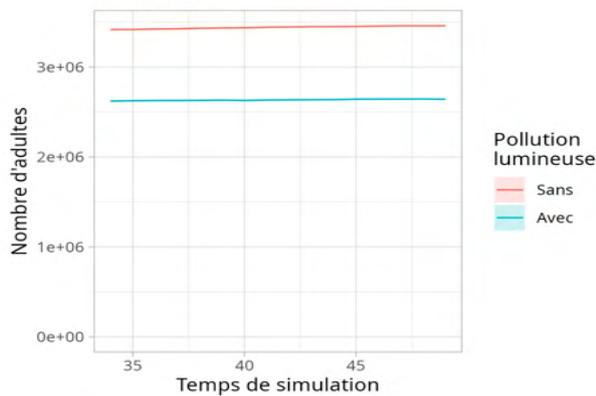
Murin de Daubenton



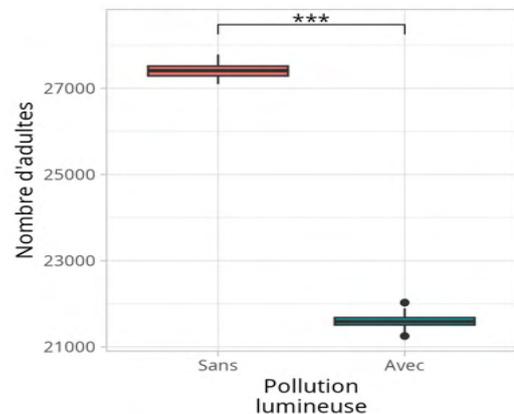
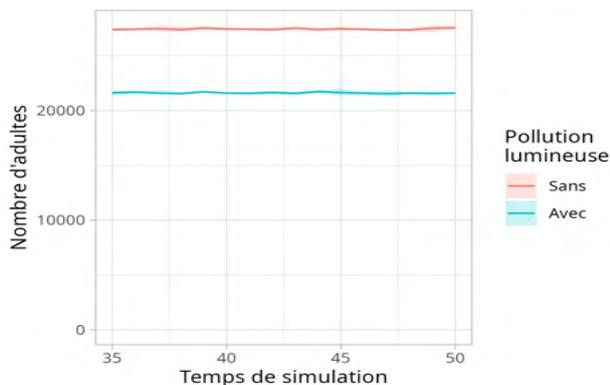
Amphibiens anoures



Odonates



Petits mammifères des milieux humides



Les estimations du trafic en individus pour les amphibiens anoures montrent que les déplacements sont présents sur l'ensemble du territoire, à l'exception de l'agglomération de Bourg-en-Bresse, de la plaine agricole au Sud-Est par delà l'autoroute, et quelques ensembles urbains ponctuels. La pollution lumineuse accentue cette séparation, et diminue par ailleurs les déplacements sur l'ensemble des habitats naturels. Les diminutions de fonctionnalité sont particulièrement importantes au niveau des ensembles urbains de Mâcon et de Bourg-en-Bresse, le long de la Saône, et le long de la D975.

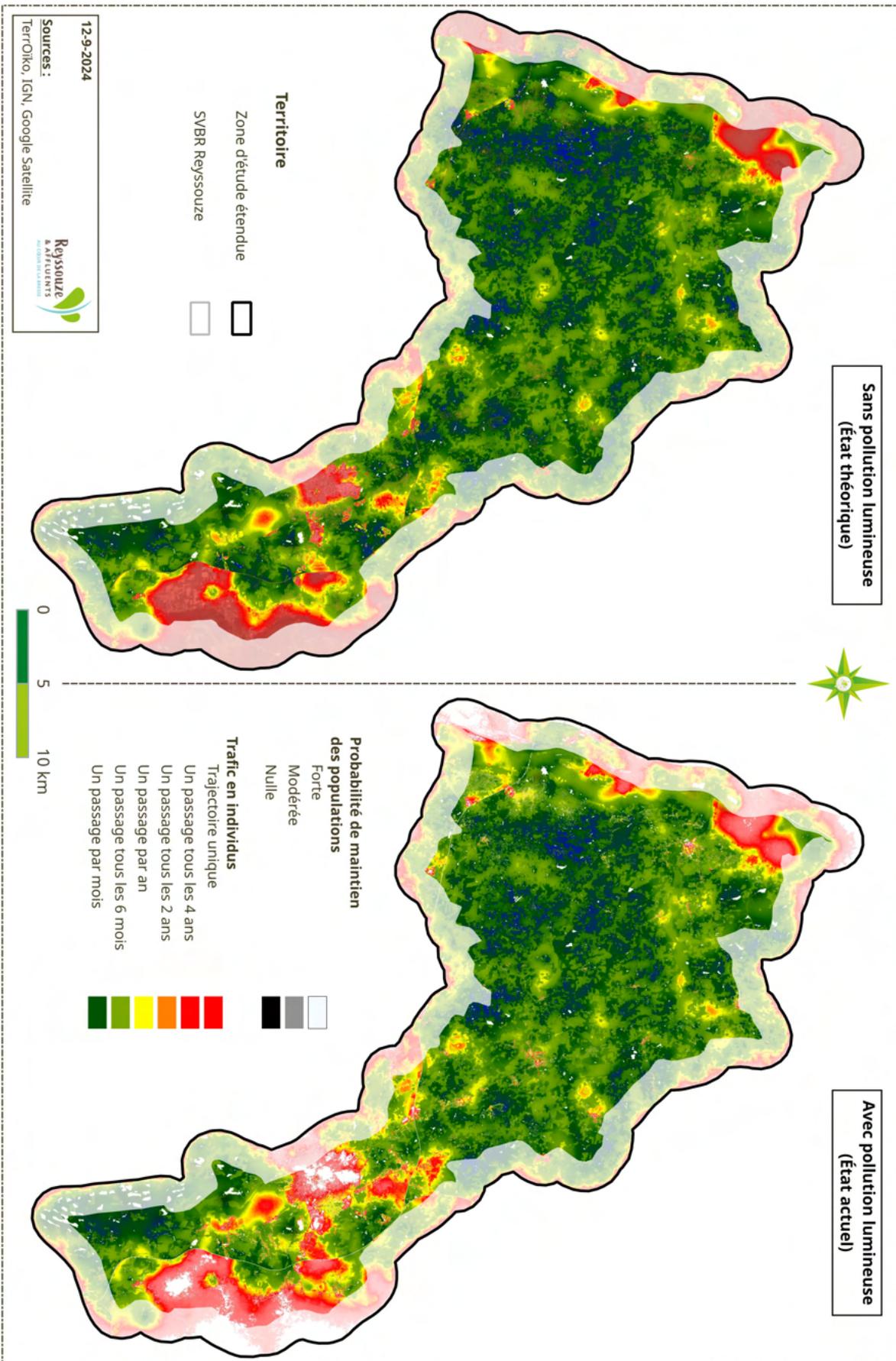
Concernant les chiroptères, le territoire présente plusieurs ensembles d'habitats naturels d'intérêt, tels que, à l'Ouest, la forêt des communes de Sermoyer, Arbigny, Vercours, celle des communes de Bagé-la-Ville, Feillens, et Manziat. En limite Est du territoire, on retrouve toute une chaîne d'habitats forestiers, au Nord et à l'Est de Bourg-en-Bresse, ainsi qu'au Sud, un grand ensemble forestier (forêts domaniales de Seillon, Montagnat, de la Rena, de la Tranclière ...). Dans le reste du territoire, on retrouve différents ensembles plus restreints mais fonctionnels. En revanche, le trafic en individus est presque totalement interrompu au niveau de l'agglomération de Bourg-en-Bresse à cause de la pollution lumineuse, et notamment entre les ensembles forestiers du Sud et du Nord-Est de la ville. On retrouve une diminution de fonctionnalité, légèrement moins importante, le long de la Saône et de Mâcon, ainsi que le long de la D975. Les augmentations de trafic et de probabilité de maintien

observées sont dues à des reports de flux à cause de l'éclairage nocturne, mais ne constituent pas de réel « bénéfique » écologique pour ces espèces.

Concernant les odonates, on retrouve une fonctionnalité importante sur l'ensemble du territoire. La pollution lumineuse entraîne une diminution de la fonctionnalité des corridors (trafic en individus) essentiellement aux abords de Mâcon et de Bourg-en-Bresse. On retrouve également une fracture plus accentuée le long de la D975, qui pourrait créer un obstacle important à la connectivité Est-Ouest du territoire.

Concernant les petits mammifères des bocages humides, la majeure partie des habitats est située le long de la Saône et de la Reyssouze, au niveau des prairies et bocages humides. Ces réservoirs sont suffisamment étendus pour ne pas présenter de diminution de probabilité de maintien des populations, mais cela occulte un impact sur le nombre d'individus, qui, lui, diminue. On retrouve des diminutions de trafic en individus importantes le long des habitats de la Saône et le long de l'axe de la Reyssouze, d'autant plus importants qu'on se rapproche de Bourg-en-Bresse.

Les cartes ci-après présentent les estimations de l'impact de la pollution lumineuse sur le maintien et le trafic en individus des amphibiens anoues, des chiroptères, des odonates et des petits mammifères des milieux humides.

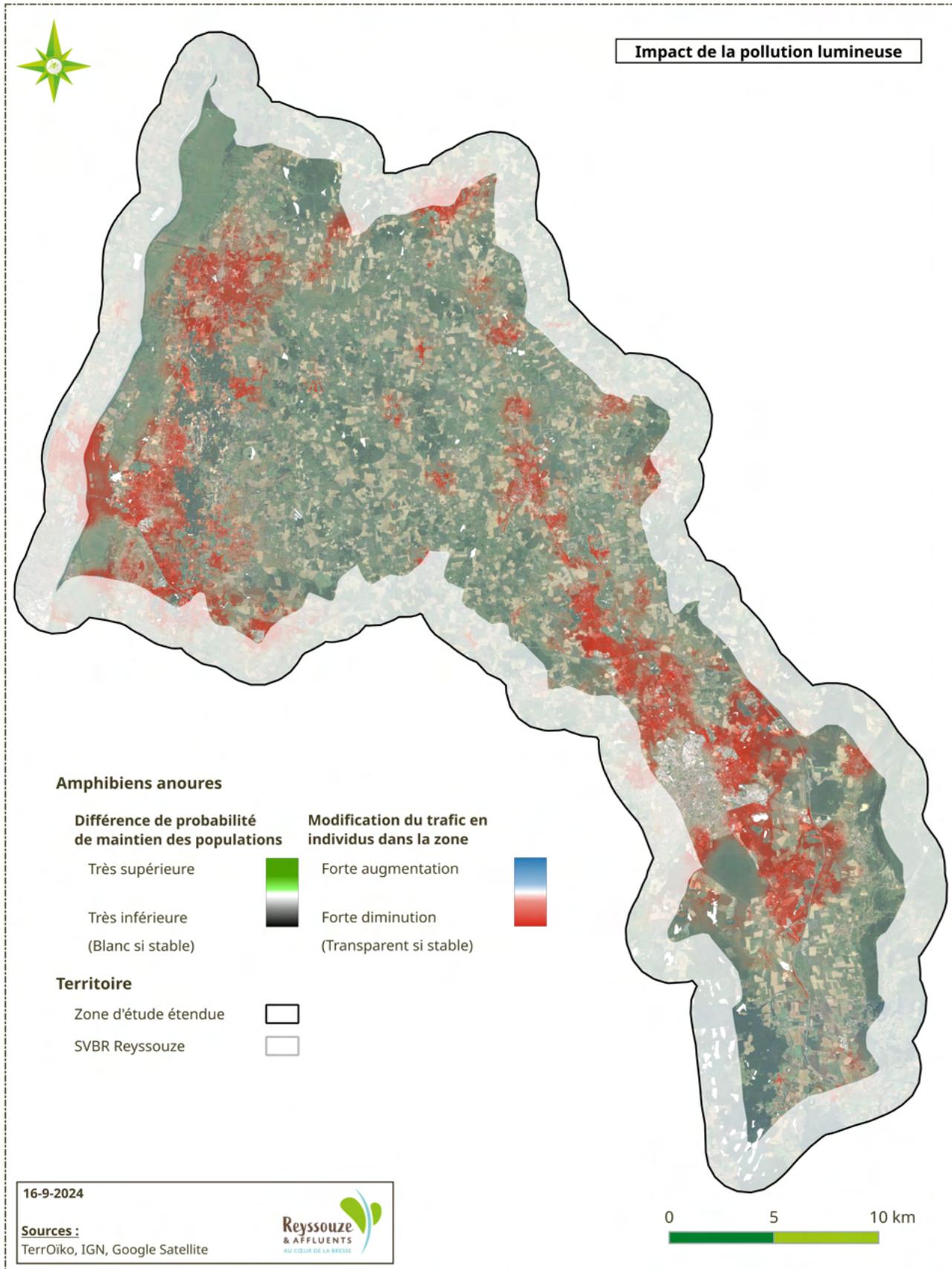


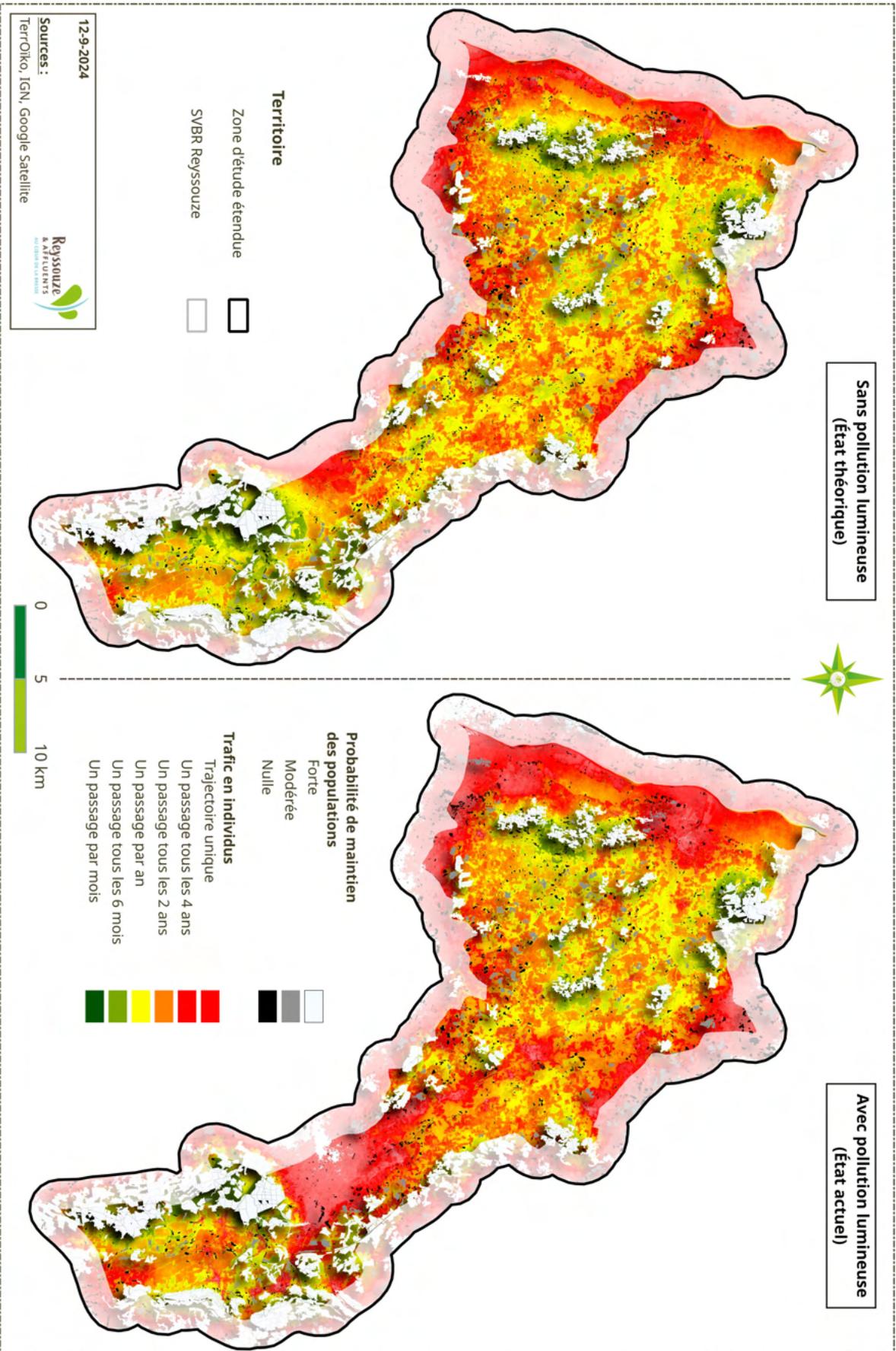


ÉTUDE DE DÉFINITION DE LA TRAME NOIRE DU SYNDICAT DE BASSIN VERSANT DE LA REYSSOUZE

IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR FONCTIONNALITÉ DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES

Guide des amphibiens anoures



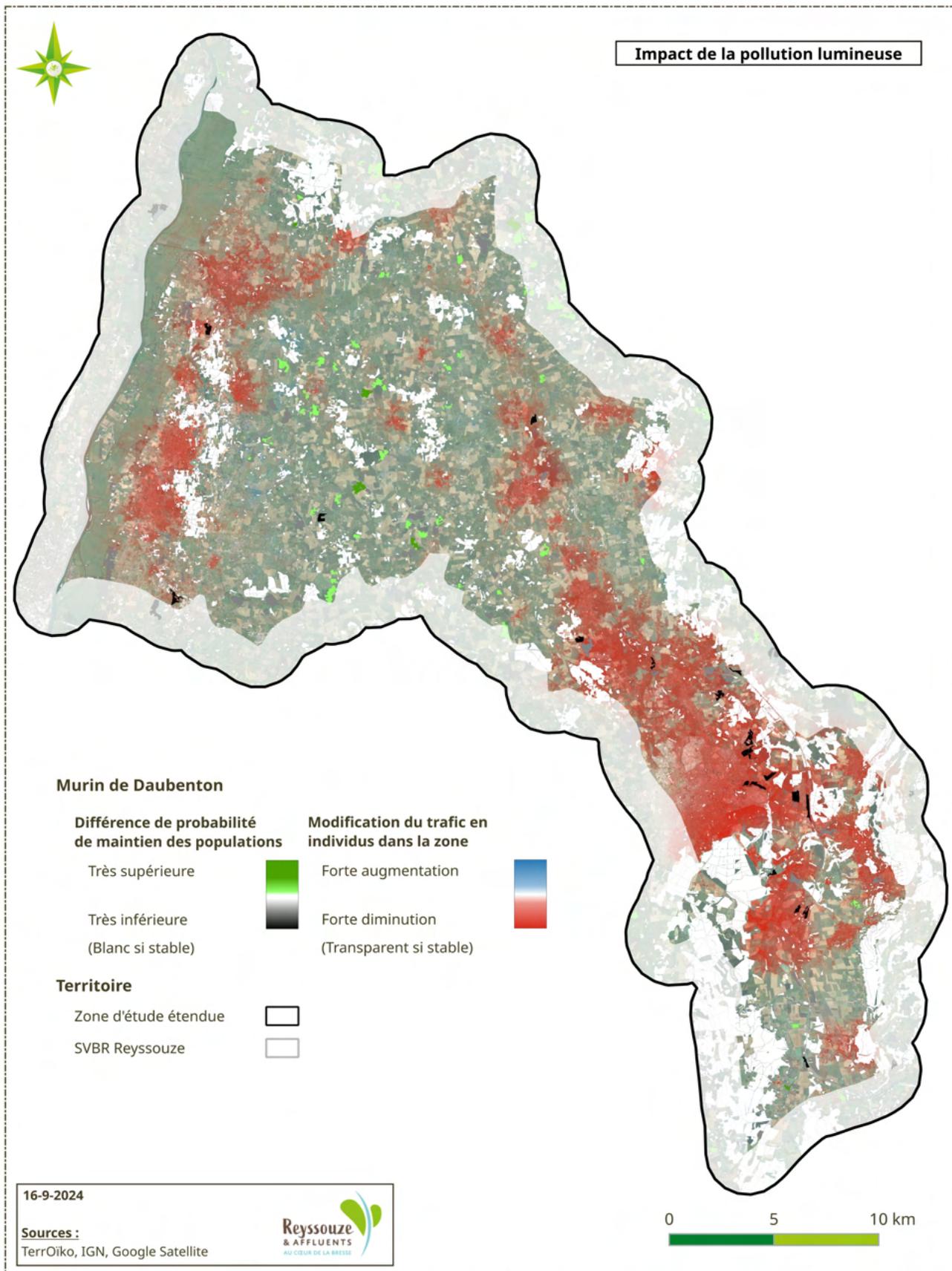


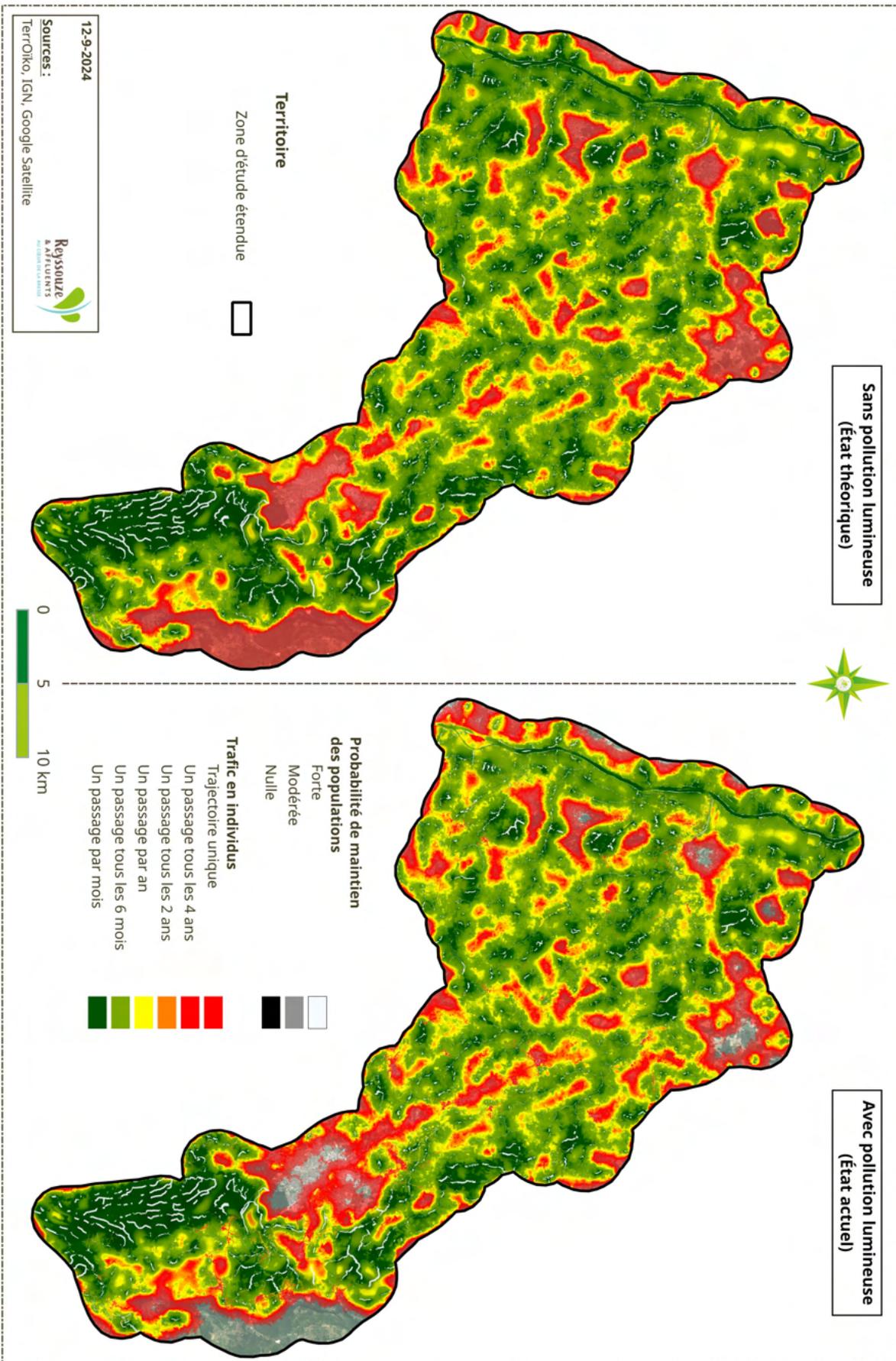


ÉTUDE DE DÉFINITION DE LA TRAME NOIRE DU SYNDICAT DE BASSIN VERSANT DE LA REYSSOUZE

IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR FONCTIONNALITÉ DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES

Murin de Daubenton



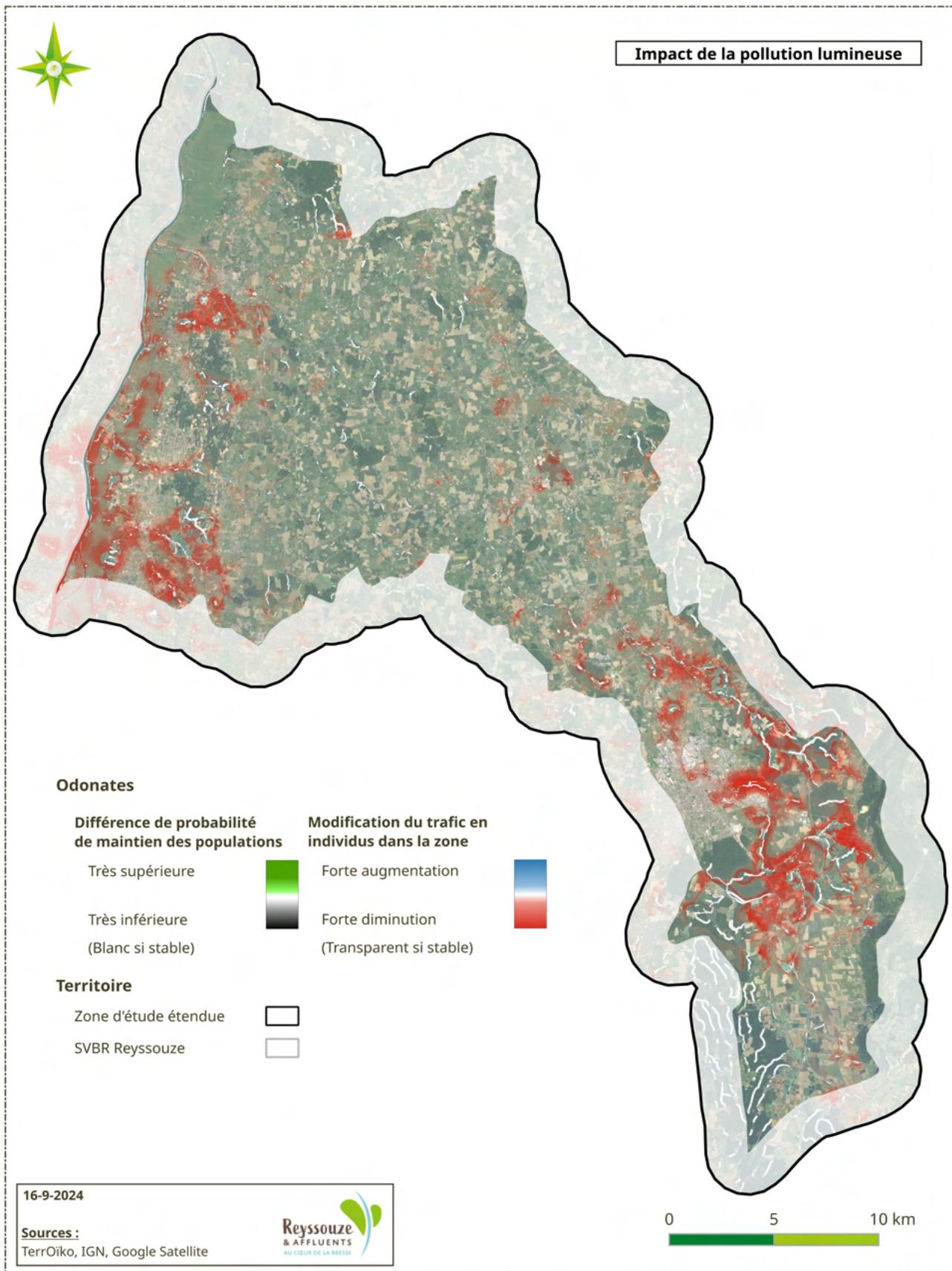


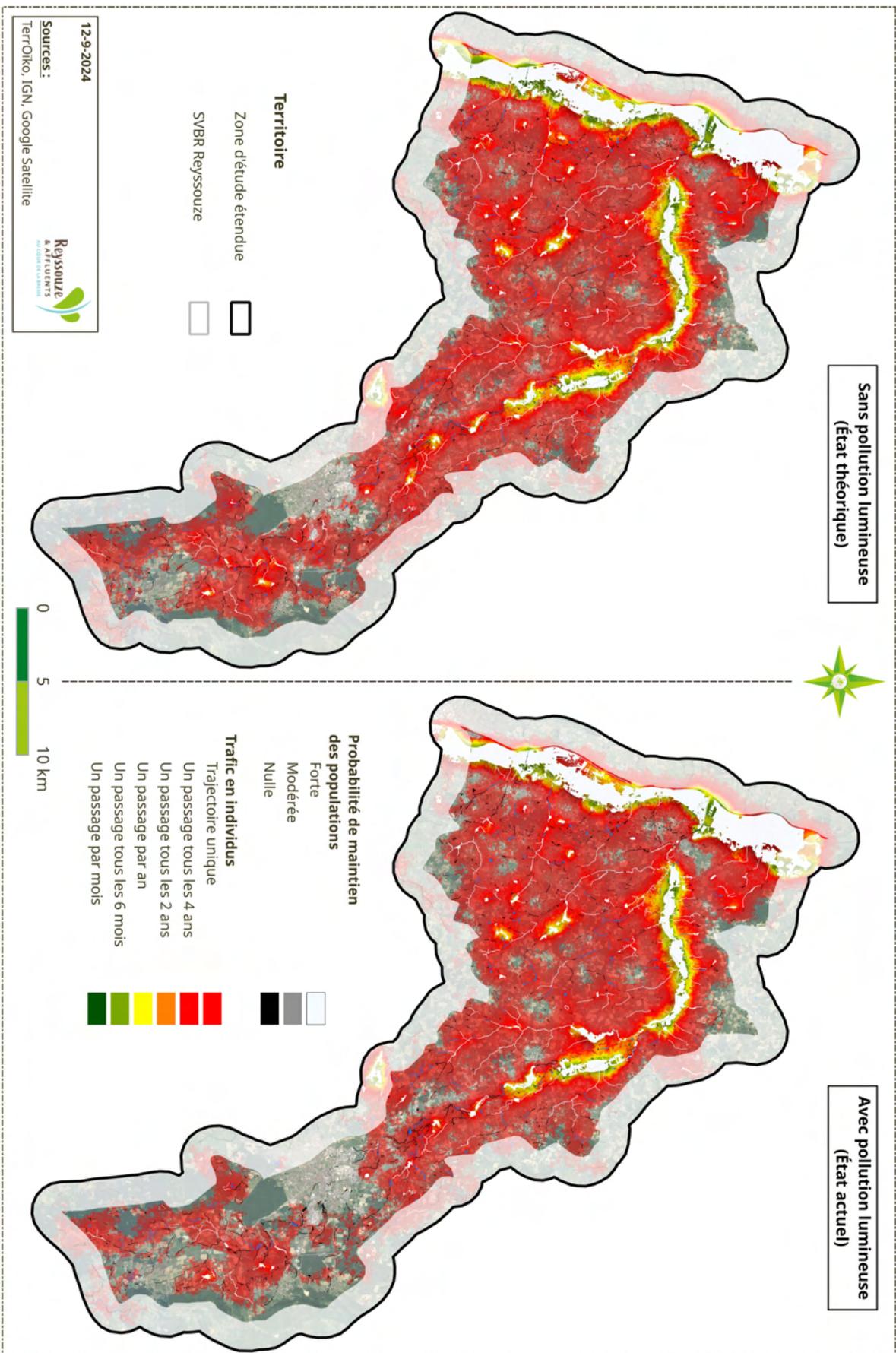


ÉTUDE DE DÉFINITION DE LA TRAME NOIRE DU SYNDICAT DE BASSIN VERSANT DE LA REYSSOUZE

IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR FONCTIONNALITÉ DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES

Guilde des odonates



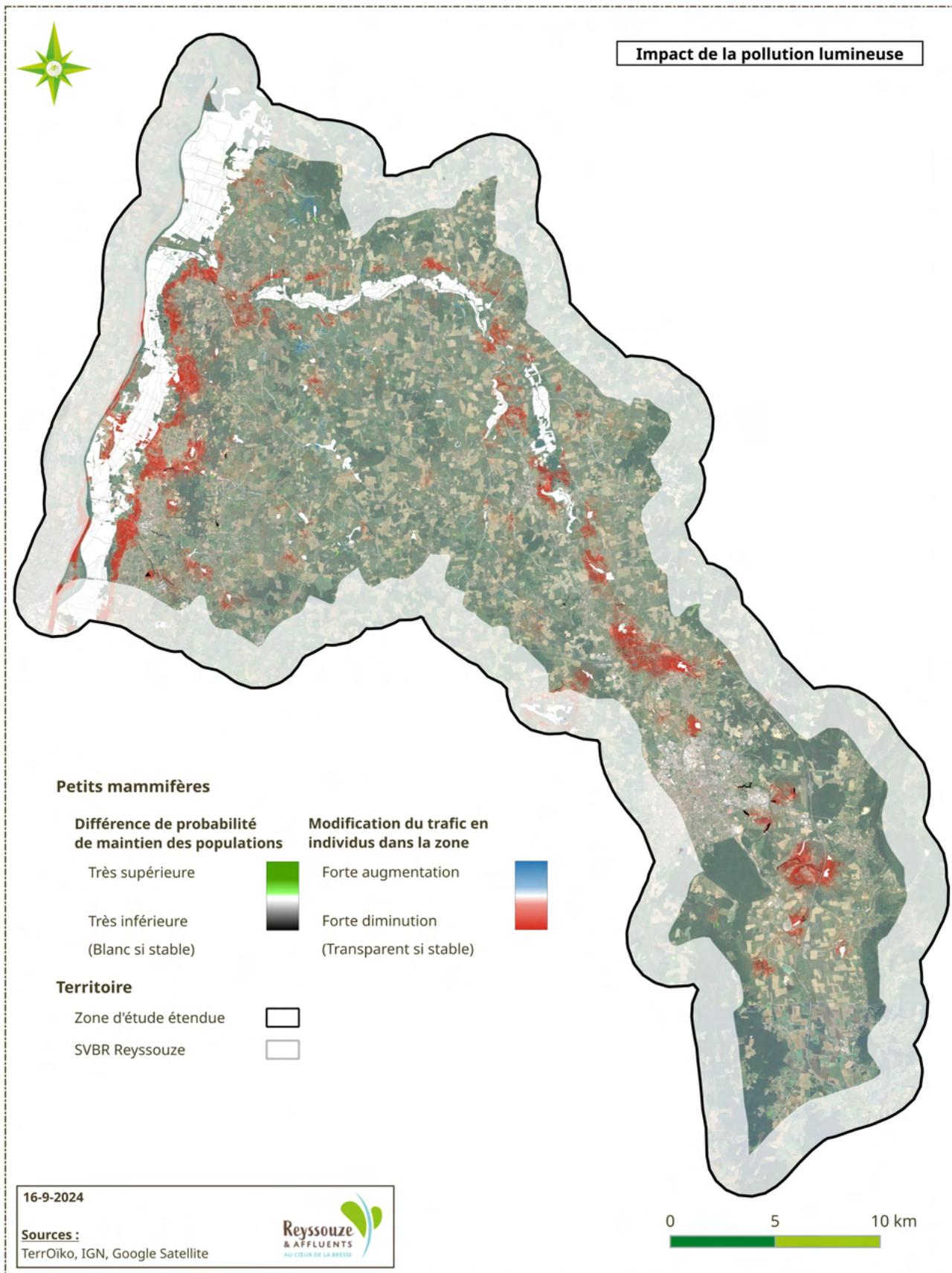




ÉTUDE DE DÉFINITION DE LA TRAME NOIRE DU SYNDICAT DE BASSIN VERSANT DE LA REYSSOUZE

IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR FONCTIONNALITÉ DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES

Guide des petits mammifères des bocages humides



iv. IMPACT DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LA FONCTIONNALITÉ DES COURS D'EAU

La faune piscicole est particulièrement impactée par la pollution lumineuse. Celle-ci réduit fortement la fécondité, la survie et les déplacements des poissons. La question de l'impact de la pollution lumineuse sur les cours d'eau est donc cruciale. À cela s'ajoute que les cours d'eau sont des éléments structurants pour l'ensemble de la biodiversité en termes de ressource en eau, de territoire de chasse ou de milieux de vie.

Le croisement des cours d'eau avec l'estimation du **halo lumineux** montre que ces éléments sont soumis à la pollution lumineuse diffuse importante dans la majeure partie du territoire, et particulièrement au niveau des agglomérations de Bourg-en-Bresse et de Mâcon. Plus de 55 % des cours d'eau se trouvent ainsi exposés aux seuils de pollution lumineuse maximaux selon l'ONB (fonctionnalité écologique « à créer » et « à créer prioritairement »). Dans ces zones, la biodiversité aquatique subit donc vraisemblablement des impacts importants. Enfin, aucun cours d'eau ne se situe dans la catégorie « à préserver », signifiant qu'une action à l'échelle de l'ensemble du territoire serait nécessaire pour en restaurer la fonctionnalité écologique.

Tableau 7 : Récapitulatif structurel de l'exposition des cours d'eau au halo lumineux (gauche) et à la pollution lumière directe (droite)

Niveau de luminance zénithale	Aire (ha)	%	Impact éclairage direct	Aire (ha)	%
À créer prioritairement	319,3	20,2 %	Majeur	2,3	0,1 %
À créer	561,8	35,6 %	Fort	18,4	1,2 %
À restaurer	696,0	44,1 %	Moindre	20,7	1,3 %
À préserver	0	0 %	Négligeable	1535,8	97,4 %
Total	1577,1	100 %	Total	1577,1	100 %

L'éclairage public constitue une source de perturbation directe lorsqu'elle se trouve à proximité des cours d'eau. Selon l'arrêté ministériel du 27 décembre 2018, il est interdit d'éclairer directement les cours d'eau¹⁰. L'éclairage direct dépend notamment de la configuration locale et des caractéristiques techniques des points d'éclairage. Les sources d'éclairage à moins de 10 mètres d'un cours d'eau sont donc potentiellement problématiques, et ont été catégorisées comme ayant un impact « majeur ». Ils concernent heureusement seulement 0,1 % des cours d'eau. De même, 1,2 et 1,3 % des cours d'eau les cours d'eau présentent respectivement une source d'éclairage public à moins de 50m et 100m. Il convient de noter que toutes les communes n'ont pas renseigné leurs emplacements de points lumineux, et que les sources lumineuses privées ne sont pas non plus prises en compte.

¹⁰ Article 4.V de l'arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000037998135/2018-12-29/>

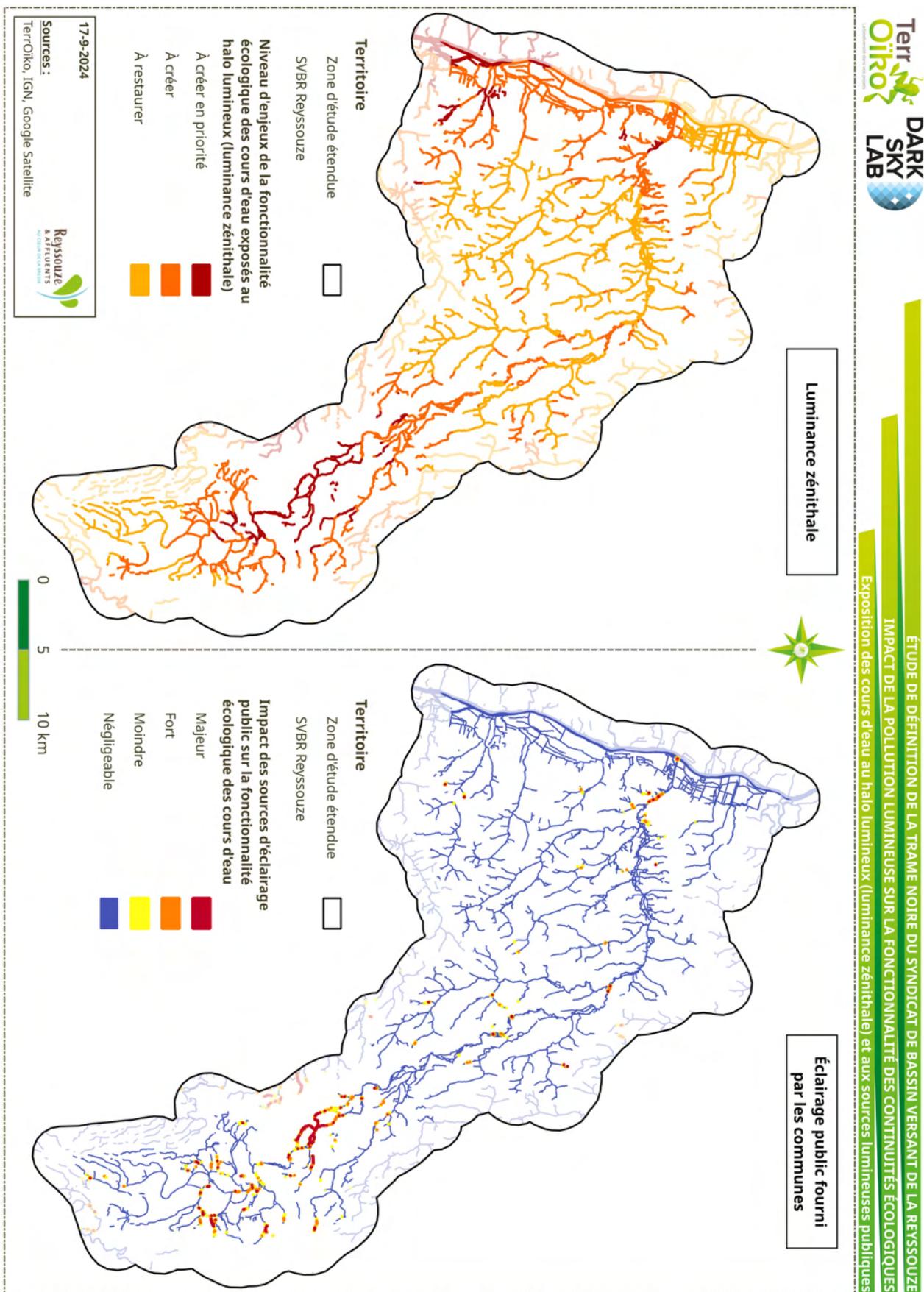


Figure 17. Illustration du croisement entre les cours d'eau du territoire et l'estimation de la qualité du ciel nocturne (halo lumineux).

3. CROISEMENT DES RÉSULTATS DES SIMULATIONS AVEC LES DONNÉES D'INVENTAIRES

Le croisement des estimations des probabilités de maintien des espèces et du trafic en individus avec les données d'inventaires (2 sources de données indépendantes) est particulièrement informatif (voir tableau ci-dessous). Il permet de conforter une vision commune de l'état de la biodiversité (qui est par nature difficile à qualifier) lorsque les résultats sont congruents. Il permet également de détecter des besoins en terrain complémentaire lorsque les résultats ne sont pas congruents.

Il est à noter que le croisement ne peut pas être considéré comme une vérification du modèle¹¹. En effet, les données d'inventaires ne sont pas forcément issues de protocoles scientifiques. Ainsi, les efforts de prospection sont très hétérogènes dans le temps et l'espace. De plus, une vérification du modèle demanderait que les métriques issues du terrain soient pleinement comparables avec les métriques issues des simulations (estimation des probabilités de maintien des espèces et du trafic en individus). Cela est possible via la mise en place de protocole de capture-marquage-recapture ou via des suivis par télémétrie des individus sur le terrain. Néanmoins, ce type de suivis est extrêmement chronophage et est souvent uniquement réalisé dans des programmes de recherche.

Tableau 8. Synthèse des possibilités offertes par le croisement des données d'inventaires disponibles pour l'étude et des résultats des simulations.

		Résultats des Simulations	
		Espace Fonctionnel	Espace Non fonctionnel
Inventaires naturalistes	Présence	Bonne congruence	Mauvaise congruence souvent liée à un manque de données sur les habitats (exemple présence d'amphibien, mais pas de recensement des mares) ou un manque de données sur la qualité des habitats → Il s'agit de secteur intéressant pour des inventaires complémentaires sur les habitats
	Absence	Mauvaise congruence souvent liée à un manque de prospection, à une mauvaise qualification dans l'occupation du sol ou à l'absence de données sur la qualité des habitats → Il s'agit de secteur intéressant pour des inventaires complémentaires sur les espèces	Bonne congruence

Dans le cadre de cette étude, les estimations fournies par SimOïko ont été croisées avec les données d'inventaires disponibles sur la zone d'étude au cours de 10 dernières années. La congruence entre les données simulées et les données d'observation a été examinée. Les observations naturalistes présentent une très bonne congruence générale avec les résultats

¹¹ Pour des vérification du modèle le lecteur peut se référer à la thèse de Sylvain Moulherat (<http://thesesups.ups-tlse.fr/2668/>) ou à la document en ligne sur SimOïko (www.simoiko.fr/docs/service/book.pdf)

des simulations au sein du territoire du Syndicat de Bassin Versant de la Reyssouze. Quelques exceptions sont néanmoins observées :

- L'agglomération de Bourg-en-Bresse présente vraisemblablement une pression d'échantillonnage élevée alors que les espèces et guildes modélisées ne sont des espèces particulièrement urbanophiles. Par ailleurs, les observations se trouvent majoritairement dans des zones où la pollution lumineuse est importante¹² (test de student significatif, ce qui semble indiquer un biais d'échantillonnage vers les zones où l'activité humaine est plus importante).
- Les quelques observations en dehors des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques correspondent à des espèces particulièrement mobiles, telles que les oiseaux et les mammifères. Pour rappel, les comportements de recherche de nourriture au quotidien ne sont pas pris en compte et peuvent expliquer une telle déviation.

4. CROISEMENT DES RÉSULTATS DES SIMULATIONS AVEC LES ZONAGES INSTITUTIONNELS

Le croisement des estimations des probabilités de maintien des espèces et du trafic en individus avec les zonages institutionnels permet :

1. D'étudier l'intérêt des zonages dans les réseaux écologiques
2. De détecter des besoins particuliers de préservation ou de restauration des zonages institutionnels
3. De bien appréhender l'importance des milieux existants en dehors des zonages institutionnels. Il est également possible de détecter des besoins de protections supplémentaires sur des milieux encore non protégés.

Les résultats de simulation de fonctionnalité de SimOïko permettent d'évaluer la fonctionnalité des corridors établis par le document du Schéma Région de Cohérence Écologique. Il convient de noter que nous avons simulé des espèces de la Trame Turquoise uniquement : les milieux boisés et ouverts éloignés des zones humides peuvent ne pas y être bien représentés. On projette le tracé des éléments du SRCE sur les métriques correspondantes en sortie de SimOïko : probabilité de maintien pour les réservoirs de biodiversité et trafic en individus pour les corridors écologiques.

Dans l'ensemble, le SRCE identifie bien les grands ensembles fonctionnels de la Trame Turquoise du territoire du SVBR. Deux exceptions notables : le corridor à l'extrémité Sud du territoire, qui apparaît peu fonctionnel, et l'ensemble de réservoirs dans la limite Sud-Sud-Ouest, qui ressort comme moins étendu que dans le SRCE. Ce dernier élément est un grand massif forestier, dont ne ressortent que les parties humides dans cette Trame Turquoise.

¹² Test de student de comparaison de la luminance zénithale des observations des taxons d'intérêt à la luminance moyenne du territoire ($\mu = 19.22$) significatif ($t = 2445.9$, $df = 22156$, $p\text{-value} < 1e-4$).

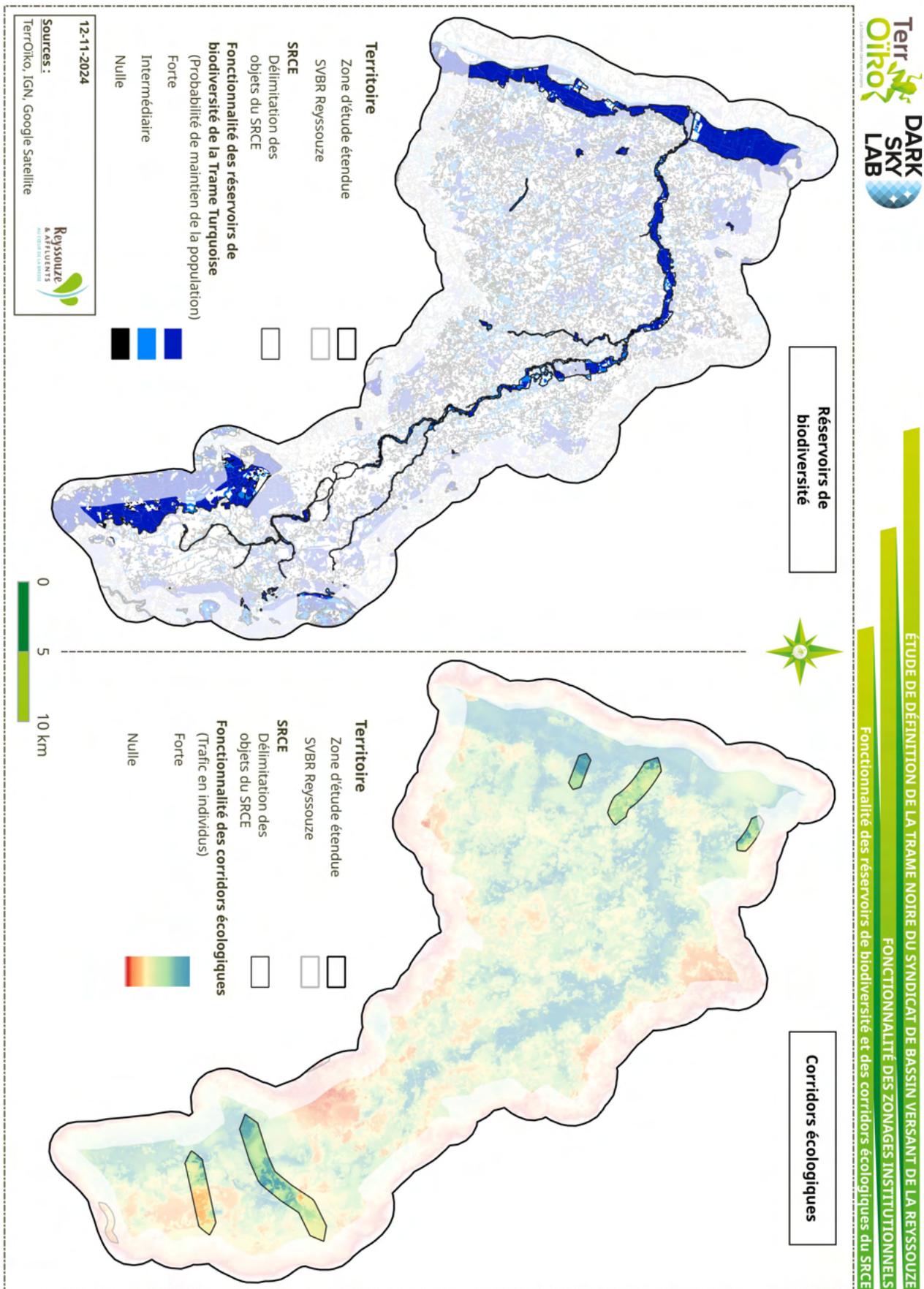


Figure 19. Cartographie de la fonctionnalité des corridors écologiques des milieux boisés du SRCE.

5. SYNTHÈSE DES ENJEUX DE LA POLLUTION LUMINEUSE SUR LA PATRIMOINE NATUREL

Les résultats des simulations montrent que la pollution lumineuse a un potentiel d'impact important sur les espèces du territoire du SBVR, en diminuant tout d'abord les tailles des populations. Cette réduction des tailles des populations entraîne :

- Des interactions entre individus moins fréquentes, avec notamment une diminution potentielle de la diversité génétique ;
- Une diminution des probabilités de maintien des espèces principalement en contexte urbain ou périurbain ;
- Une réduction du trafic en individus (moins d'individus = moins de potentiel dispersant et donc moins d'échange entre les habitats).

La pollution lumineuse impacte également directement les déplacements :

- Elle freine voire bloque les déplacements entre les habitats au niveau de Bourg-en-Bresse, qui constitue un « goulot d'étranglement » du territoire, ainsi que le long de la Saône, à cause de l'urbanisation aux abords de Mâcon. En effet, la pollution lumineuse est particulièrement importante au niveau des agglomérations majeures. On retrouve également une diminution conséquente de la fonctionnalité le long de la D975, ce qui est susceptible de créer une véritable rupture de continuité entre l'Est et l'Ouest, selon un axe Nord-Nord-Ouest/Sud-Sud-Est ;
- Elle réduit considérablement l'utilisation des milieux urbains notamment pour les espèces volantes (chauves-souris, odonates). Il est intéressant de noter que cela n'est pas sans conséquence sur les services écosystémiques que ces espèces peuvent rendre (lutte contre les moustiques, pollinisation).

Dans ce contexte, l'amélioration du maintien des populations et du trafic en individus au regard de la pollution lumineuse passe par :

- Une diminution globale du halo lumineux
- Une réduction de la pollution lumineuse autour des milieux boisés, ouverts et humides au sein du territoire, ainsi que l'éclairage des cours d'eau.
- Une réduction de la pollution lumineuse sur quelques secteurs à enjeux particuliers qui actuellement freinent les déplacements des espèces.

D. IDENTIFICATION D'UNE TRAME NOIRE

1. PRÉAMBULE À L'IDENTIFICATION DE LA TRAME

L'identification des objets de la Trame Noire demande de passer des résultats techniques des approches structurelle, fonctionnelle des zonages institutionnels et par avis d'experts à une vision binaire relative aux objets de la Trame Noire. Il s'agit d'une étape importante puisque l'on passe de l'identification des réseaux écologiques et de leurs obstacles à une vision politique qui s'intègre dans les outils de planification territoriale¹³.

L'identification des Trames est cadrée à l'échelle nationale par le décret n°2019-1400 du 17 décembre 2019 qui reprend les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques et les lois n°2009-967 dite Grenelle I et loi n°2010-788 dite Grenelle II. Le décret oriente la manière dont la Trame doit être réalisée :

- Intégrer obligatoirement certains zonages ou espaces naturels comme réservoirs de biodiversité.
- Examiner au cas par cas la prise en compte des espaces dont l'intégration est fortement recommandée par le décret (zonages réglementaires, zonages d'inventaires, zones humides).
- Vérifier la cohérence avec les continuités écologiques d'importance nationale et régionale (prise en compte des documents de rang supérieur).
- Examiner l'intégration des enjeux relatifs à certaines espèces listées à l'annexe I du décret et différentes pour chaque région.
- Caractériser les objets de la trame d'après leur place dans le fonctionnement écologique du territoire.
- Rattacher les objets de la trame aux 5 sous-trames suivantes : milieux boisés, milieux ouverts, milieux humides, cours d'eau, milieux littoraux.

L'identification de la Trame Noire a été cadrée par le décret n°2019-1400 du 17 décembre 2019.

A l'instar de la Trame Verte et Bleue, la Trame Noire est un outil d'aménagement du territoire qui vise à concilier développement territorial et conservation de la biodiversité et qui est décliné sous forme d'information spatialisée.

La Commission de validation des données pour l'information spatialisée (COVADIS) a fourni un cadre afin de standardiser les données produites dans le cadre de l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique. En 2018, le Conseil National de l'Information Géographique (CNIG) a ainsi été sollicité pour la mise à jour du standard. Le contenu reste assez proche du précédent standard, mais permet son application aux SRADDET et apporte

¹³ Il est à ce stade bon de rappeler que la commune pourra toujours s'appuyer sur les cartes techniques pour disposer d'un niveau d'analyse fin de l'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité.

de nouvelles valeurs pour certains champs afin de s'adapter aux données des régions et prendre en compte les retours d'expérience des premiers SRCE.

Afin de garder une cohérence avec le cadre proposé à l'échelle nationale, l'identification de la Trame Noire a été réalisée en suivant le cadre proposé par le standard CNIG-CER-2018.

Les principaux éléments du standard sont décrits ci-dessous :

- Définition de 5 classes d'objets permettant de décrire la Trame Noire :
 - **Réservoirs de biodiversité.** Le standard rappelle la définition des réservoirs de biodiversité « Les réservoirs de biodiversité sont des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement en ayant notamment une taille suffisante, qui abritent des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent ou qui sont susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations d'espèces. Un réservoir de biodiversité peut être isolé des autres continuités de la trame ». Il est rappelé que la réglementation autorise que tous les réservoirs de biodiversité ne soient pas forcément reliés par des corridors écologiques.
 - **Corridors écologiques.** Le standard rappelle la définition des corridors. Les corridors écologiques assurent des connexions entre des réservoirs de biodiversité, offrant aux espèces des conditions favorables à leur déplacement et à l'accomplissement de leur cycle de vie.
 - **Cours d'eau.** Les cours d'eau étant souvent appréciés comme à la fois des réservoirs biodiversité et des corridors écologiques ils ont une classe objets spécifiques.
 - **Obstacles.** Le standard identifie 16 catégories d'obstacles dont la pollution lumineuse qui sera l'obstacle central dans la déclinaison de la Trame Noire.
 - **Actions** qui servent à spatialiser les actions prioritaires inscrites au plan d'action stratégique des continuités écologiques. Les actions ont commencé à être recensées lors d'un atelier, mais ne feront pas l'objet d'un approfondissement dans le présent rapport.
- Parmi les attributs complémentaires des objets, il est à noter la nécessité d'établir une filiation avec :
 - des milieux. La filiation se fait en accord avec les sous-trames définies à l'échelle nationale : Milieu boisé, Milieu ouvert, Milieu humide, Milieu littoral, Cours d'eau.
 - 3 typologies d'objectif pour les réservoirs de biodiversité et les corridors : inconnu, à préserver, à remettre en bon état

1. IDENTIFICATION DES OBJETS COURS D'EAU ET RÉSERVOIRS DE BIODIVERSITÉ

Il s'agit donc ici de caractériser et spatialiser les secteurs où le maximum d'espèces peuvent accomplir l'intégralité de leur cycle de vie. Dans un premier temps, la caractérisation des cours d'eau et des réservoirs de biodiversité des milieux boisés, ouverts et humides a été réalisée sans prendre en compte la pollution lumineuse. Cette dernière sera caractérisée dans la partie « identification des obstacles ».

i. PRISE EN COMPTE DE LA CAPACITÉ DES ESPÈCES A ACCOMPLIR L'INTÉGRALITÉ DE LEUR CYCLE DE VIE : L'APPROCHE FONCTIONNELLE

Les cours d'eau et les réservoirs de biodiversité ont été identifiés en suivant les règles suivantes :

- De par leur importance pour la biodiversité, l'ensemble des **cours d'eau** non busés qu'ils soient temporaires ou non sont identifiés comme **cours d'eau** sur la cartographie de la Trame Noire.
- Les milieux boisés, ouverts et humides qui permettent à l'ensemble des espèces d'accomplir l'intégralité de leur cycle de vie sont identifiés comme des **réservoirs de biodiversité** sur la cartographie de la Trame Noire.
- Lorsque des aménagements ultérieurs étaient connus, la fonctionnalité des réservoirs a pu être modifiée selon les impacts envisagés (exemple : implantation d'une ZAC, ou à l'inverse, la restauration de sections de cours d'eau)

ii. PRISE EN COMPTE DES RÉSERVOIRS DE BIODIVERSITÉ ET DES COURS D'EAU DE L'APPROCHE DES ZONAGES INSTITUTIONNELS

Le territoire dispose déjà d'une définition de Trame Turquoise, qui définit une première partie des réservoirs de biodiversité. D'autres ont été ajoutés sur les secteurs où l'ensemble des règles précédentes ne permettaient pas de les identifier. Pour cela, des superpositions ont été réalisées entre la proposition de réservoirs de biodiversité et la délimitation des différents zonages. Les superpositions permettent de voir que :

- Les zonages réglementaires sont compris dans la proposition de réservoirs de biodiversité avec un affinage des contours suivant les milieux boisés, ouverts, humides et cours d'eau identifiés.
- Il est intéressant de noter que la définition des réservoirs de biodiversité pour la Trame Noire dépasse largement les seuls zonages réglementaires et les zonages d'inventaires, car un grand nombre d'habitats en dehors des zonages permettent aux espèces d'accomplir leur cycle de vie.

iii. PRISE EN COMPTE DE L'APPROCHE INVENTORIALE

La définition des réservoirs de biodiversité de la Trame Noire a été croisée avec les inventaires disponibles sur la zone d'étude pour les espèces décrites comme indicatrices de la Trame Noire par l'OFB telles que les chauves-souris, les odonates, les micromammifères, ou les amphibiens. Dans l'ensemble, les inventaires sont situés dans ou très proches des réservoirs de biodiversité. Les seules exceptions notables sont des zones urbanisées à forte pression d'échantillonnage. Théoriquement, la présence des espèces se fera plus fréquente à mesure que la pollution lumineuse diminuera.

2. IDENTIFICATION DES OBJETS CORRIDORS ÉCOLOGIQUES

Suite à l'identification des cours d'eau et des réservoirs de biodiversité, les corridors écologiques ont été caractérisés. Il s'agissait de spatialiser les secteurs où le maximum d'espèces peuvent se déplacer entre les réservoirs de biodiversité. Dans un premier temps, la caractérisation se fait sans prendre en compte la pollution lumineuse. Les impacts de la pollution lumineuse sur les corridors seront caractérisés dans la partie « identification des obstacles ».

i. PRISE EN COMPTE DES ESTIMATIONS DU TRAFIC EN INDIVIDUS

D'un point de vue structurel, le réseau routier et ferroviaire empêche la contiguïté physique d'éléments boisés, ouverts et humides, et constituent des obstacles à la dispersion des individus.

D'un point de vue fonctionnel, les résultats des simulations de la vie des espèces montrent que des déplacements peuvent exister pour certaines espèces entre ces différents patchs d'habitats. Des seuils de trafic en individus globaux ont été sélectionnés pour identifier les zones préférentielles de passage entre les différents réservoirs biologiques. Ces zones préférentielles de passage sont catégorisées, selon leur fonctionnalité (intensité du trafic en individus), comme corridors écologiques fonctionnels, moyennement fonctionnels, ou peu fonctionnels.

À noter qu'il existe également des connexions avec des ensembles d'habitats en dehors du territoire d'études, et notamment la Saône, les forêts humides au Sud de Bourg-en-Bresse ou encore les contreforts du Jura à l'Est. Le territoire du Bassin Versant de la Reyssouze constitue une opportunité de choix pour la connectivité Est-Ouest entre le Massif du Jura et les monts du Beaujolais.

ii. PRISE EN COMPTE DES CORRIDORS ÉCOLOGIQUES DANS LES ZONAGES INSTITUTIONNELS

À ce stade, les corridors écologiques caractérisés dans le cadre de la Trame Turquoise permettent de prendre en compte en grande partie les enjeux de déplacement dans les réseaux écologiques supports de la Trame Noire. Deux compléments ont été apportés :

- Dans un premier temps, un croisement a été réalisé avec les corridors identifiés à l'échelle du SBVR et à l'échelle de la Région dans le cadre du SRCE. Lorsque les corridors écologiques décrits dans ces documents n'étaient pour le moment pas identifiés dans la Trame Noire ils ont été ajoutés. La base structurelle de l'occupation du sol de l'étude a été utilisée pour spatialiser ces corridors.
- Dans un deuxième temps, la caractérisation des objets de la Trame Noire a été croisée avec les estimations du trafic en individus issues des simulations de la vie des espèces. Il s'agissait ici de vérifier que les axes de déplacements principaux sont bien pris en compte dans les objets de la Trame Noire (réservoirs de biodiversité, cours d'eau ou corridors écologiques).

En conclusion la caractérisation des corridors écologiques d'eau à l'échelle du SBVR permet de prendre en compte les grands enjeux de continuités écologiques et donc caractérisent bien les corridors écologiques du territoire. Les compléments apportés en ateliers notamment permettent d'affiner la fonctionnalité des corridors écologiques.

L'identification des réservoirs de biodiversité, des corridors écologiques et des cours d'eau est présentée dans la carte ci-après.

Reste de la matrice paysagère :

- Le territoire est composée d'une multitude de petits milieux boisés et ouverts moins connectés aux autres éléments naturels qui constituent des habitats. Si ces éléments ne permettent pas aux espèces d'accomplir l'intégralité de leur cycle de vie, il semble important de les faire figurer sur la cartographie de la Trame Noire. Il a donc été choisi de mentionner les habitats boisés et ouverts, autres que les réservoirs de biodiversité et les corridors écologiques précédemment recensés, sur la cartographie de la Trame Noire.

La carte ci-après présente la cartographie des réservoirs de biodiversité, des corridors écologiques, des cours d'eau et du reste de la matrice paysagère.

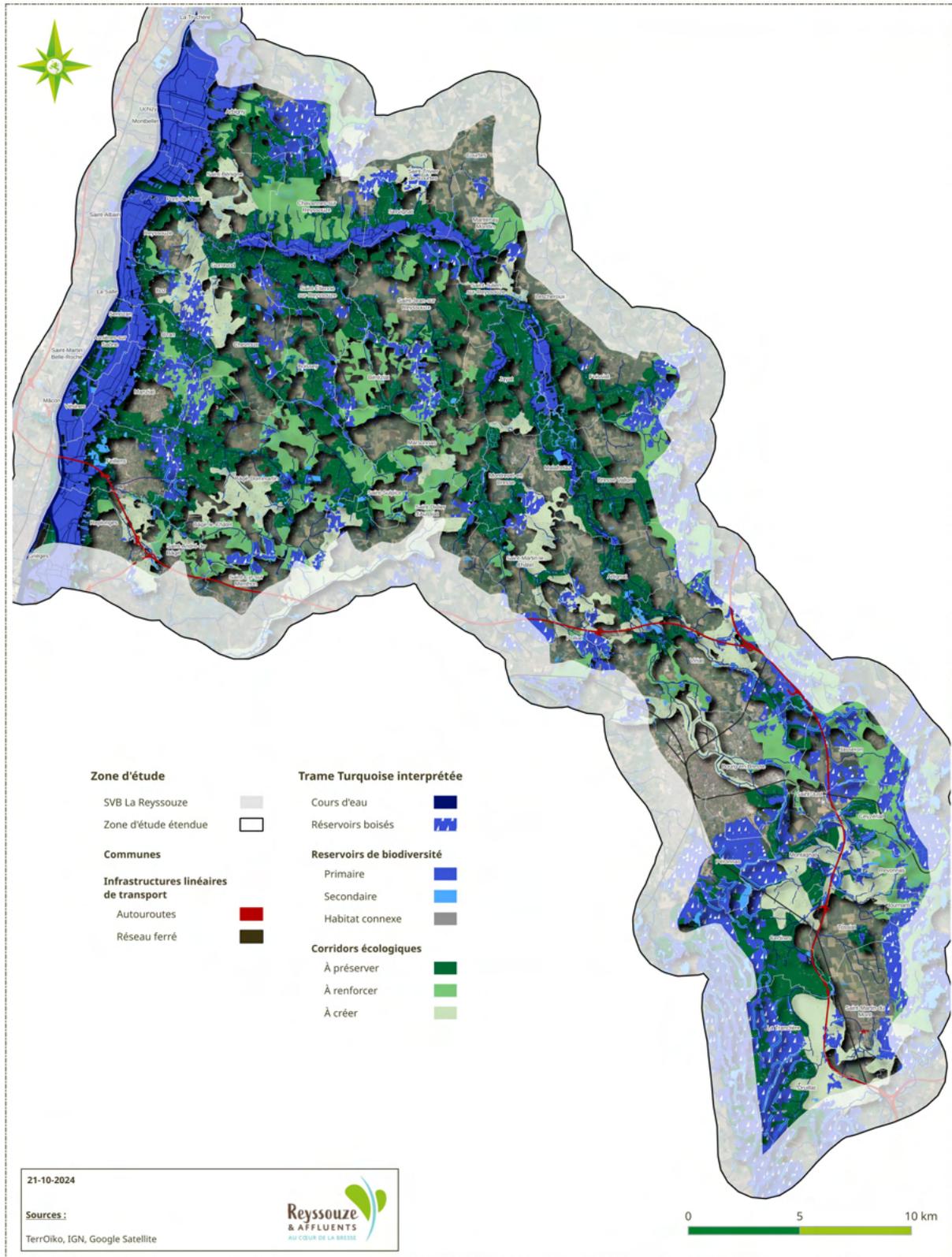


Figure 23. Cartographie des réservoirs de biodiversité, des corridors écologiques et du reste de la matrice paysagère.

3. IDENTIFICATION DES OBSTACLES

Dans le cadre de la Trame Noire, les obstacles que l'on cherche à caractériser sont des sources lumineuses. Ces dernières peuvent perturber la vie des espèces via un effet d'éblouissement directement perçu par leurs organes sensoriels (pollution lumineuse directe) ou par l'effet d'une ambiance lumineuse trop importante appelé aussi halo lumineux (pollution lumineuse indirecte).

Les précédentes étapes ont permis de caractériser les cours d'eau, les réservoirs de biodiversité et les corridors écologiques. Il s'agit ici de spatialiser les obstacles à leur fonctionnement en terme de pollution lumineuse :

- Les points lumineux ou les sources de radiances situées à moins de 50 mètres des cours d'eau, les réservoirs de biodiversité et les corridors écologiques ont été qualifiés d'obstacles ;
- L'intensité de la pollution lumineuse a été croisée avec les différents éléments des réseaux écologiques. Ainsi, on a pu identifier les zones où la pollution lumineuse constitue un véritable à la fonctionnalité des réservoirs et des corridors. Pour cela, les seuils de l'ONB ont été utilisés.

Des ateliers ont été effectués de manière à réfléchir avec les acteurs du territoire à ces questions de spatialisation des obstacles.

4. CARTOGRAPHIE DE LA TRAME NOIRE

La carte de la Trame Noire du territoire du SBVR est présentée ci-dessous.

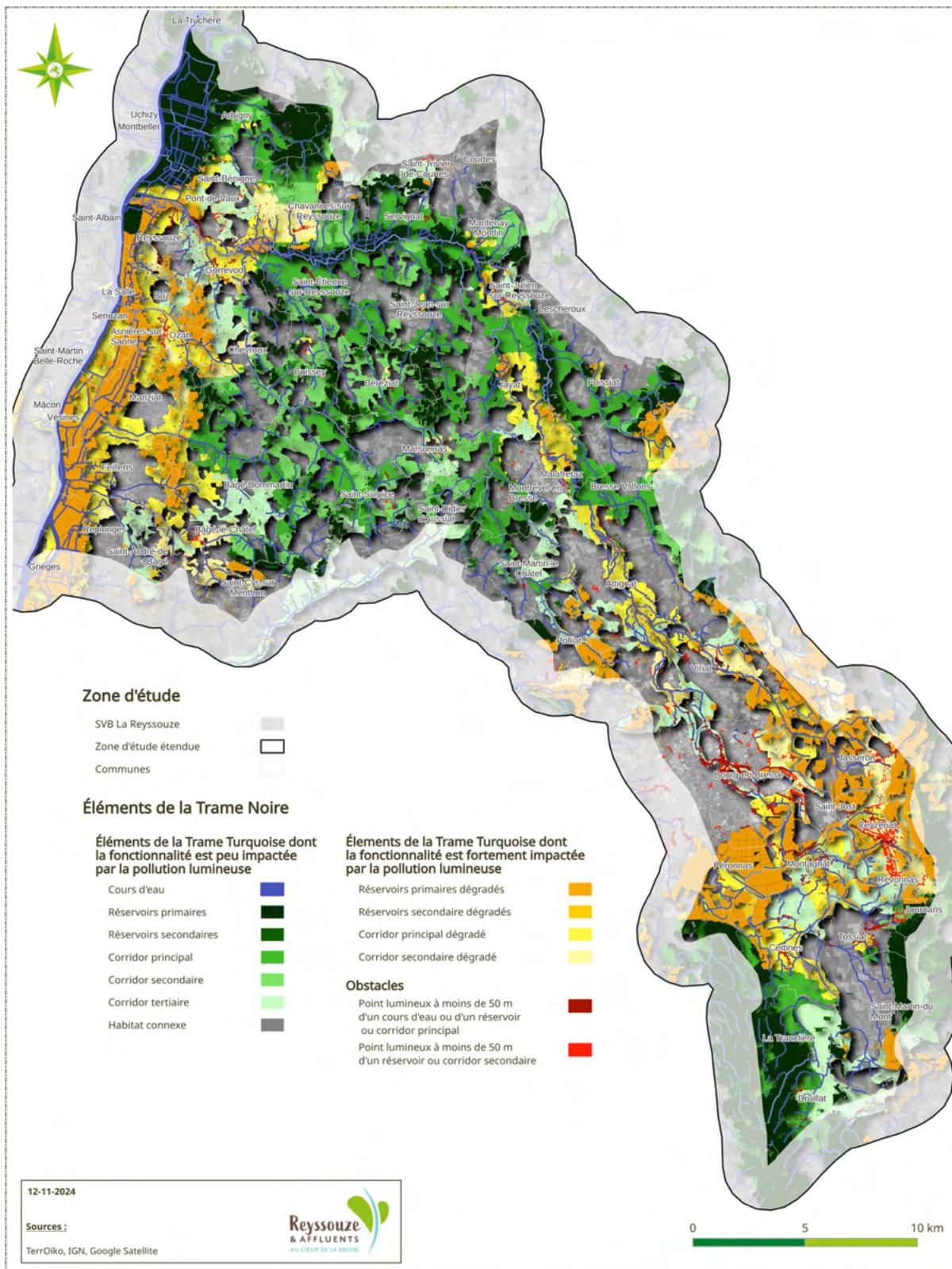


Figure 24. Cartographie de la Trame Noire.

E. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La lumière artificielle représente un facteur de pression important pour la biodiversité en contribuant à la perte d'habitat et à la fragmentation du territoire pour la faune et la flore. C'est dans ce contexte que la réglementation française demande aux collectivités de prendre en compte dans leurs outils d'urbanisme l'impact de la pollution lumineuse sur la vie des espèces¹⁴. C'est la Trame Noire¹⁵.

Concrètement les collectivités doivent identifier, caractériser et spatialiser les secteurs où la pollution lumineuse n'impacte pas la capacité des espèces à accomplir l'intégralité de leur cycle de vie (objets réservoir de biodiversité ou cours d'eau) et à se déplacer entre leur patch d'habitats (objets corridor écologique). Elles doivent également identifier, caractériser et spatialiser les secteurs où la pollution lumineuse impacte la capacité des espèces à accomplir l'intégralité de leur cycle de vie et à se déplacer (objets obstacle). Enfin, elles doivent identifier, caractériser et spatialiser des actions permettant de préserver les réservoirs de biodiversité, les cours d'eau et les corridors de la pollution lumineuse et également des actions permettant de réduire les nuisances lumineuses sur les obstacles préalablement identifiés. L'ensemble devant in fine être intégré dans les outils d'urbanisme des collectivités.

Dans une volonté d'accompagner les collectivités de son territoire, le Syndicat de Bassin Versant s'est doté de cartographies techniques et de synthèses, qui permettront de construire un plan d'actions et de recommandations pour l'aménagement urbain afin d'intégrer pleinement la Trame Noire dans sa stratégie de développement territorial.

L'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité sur le territoire du Syndicat de Bassin Versant de La Reyssouze est important, mais n'impacte pas trop fortement le cœur des secteurs les plus favorables à la réalisation du cycle de vie des espèces. En effet, les milieux naturels favorables aux espèces de la Trame Turquoise se retrouvent majoritairement en dehors des ensembles urbains, qui sont les plus éclairés. Cependant, les obstacles que constituent l'éclairage de la ville de Bourg-en-Bresse ainsi que de la D975 sont susceptibles de créer une discontinuité entre les parties Est et Ouest du territoire, et notamment au niveau d'un corridor d'importance régionale du SRCE (au Sud de Bourg-en-Bresse). De même, le halo lumineux du tissu urbain aux abords de Mâcon impacte de manière sensible les réservoirs et corridors le long de la Saône. Il s'agit d'un enjeu important concernant la connectivité écologique vers d'autres ensembles écologiques à l'extérieur du territoire. Par ailleurs, l'éclairage de certains axes de transport vient accentuer leur statut d'obstacle à la connectivité écologique.

¹⁴ Décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019, orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques

¹⁵ Sordello R, Paquier F, Daloz A. 2021. Trame Noire : Méthodes d'élaboration et outils pour sa mise en œuvre. OFB – UMS Patrinat. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/831>

Les cartes réalisées dans le cadre de ce rapport pourront servir de base pour établir un plan d'actions de reconquête de la nuit, ou leur traduction à l'échelle, plus fine, des communes et EPCI. Elles pourront également servir à établir les indicateurs de suivis de la Trame Noire sur le territoire.