



ETUDE POLLUTION LUMINEUSE

Maison d'arrêt de Vannes – site de Chapeau Rouge

**Complément d'étude : construction d'une nouvelle voie
d'accès**



Sommaire

Introduction

Page 03

- La pollution lumineuse et ses enjeux
- La méthodologie de l'étude
- Le contexte du projet

Page 04

Page 07

Page 12

L'état initial de l'environnement nocturne

Page 16

- Analyse de données
- Analyse des enjeux à l'état initial

Page 17

Page 28

Etude des impacts

Page 36

- Modélisations prédictives
- Etude des impacts du projet
- Mesures ERC

Page 37

Page 41

Page 51

Suivi des versions du rapport

Date

Version initiale

Juillet -2024

Introduction

La pollution lumineuse et ses enjeux

La pollution lumineuse est une forme de pollution causée par l'introduction de lumière artificielle dans l'environnement nocturne, perturbant ainsi l'obscurité naturelle. Elle modifie ainsi les conditions qui constituent la nuit.

Le rythme nyctéméral, ou cycle jour/nuit, est essentiel pour la biodiversité et les humains. Il se divise en trois phases : le crépuscule, caractérisé par une baisse de luminosité et une augmentation de l'humidité ; le cœur de la nuit, marqué par l'absence de lumière, une chute des températures et une hausse de l'humidité ; et l'aube, où apparaissent les premières lueurs du jour, avec la température la plus basse et l'humidité la plus élevée d'une période de 24h. La lumière artificielle perturbe ce rythme en modifiant les conditions naturelles d'obscurité, affectant ainsi les écosystèmes.

Les impacts de la pollution lumineuse dépendent de divers paramètres techniques des sources lumineuses.

4. Autres facteurs de pollution lumineuse

D'autres facteurs sont recherchés pour comprendre et étudier la production de pollution lumineuse :

- **La hauteur des mâts** : paramètre qui intervient dans une dimension de nuisances pour la biodiversité. Plus les points sont hauts, plus ils peuvent avoir des effets d'éblouissement des espèces et risquent d'être visibles de plus loin. Également, une grande hauteur de mâts implique une zone éclairée au sol plus grande et un risque plus élevé de déperdition de lumière dans l'environnement proche.

- **Concentration de points lumineux** : plus les points lumineux sont concentrés, plus il y a un risque de produire des impacts. Même si les flux sont maîtrisés et n'éclairent qu'en direction du sol, le sur-éclairage combiné avec la réverbération sera une source de renforcement de la pollution lumineuse directe et du halo lumineux.
- **La période d'éclairage** : les périodes de la nuit les plus propices pour la biodiversité sont le crépuscule et début de nuit, ainsi que l'aube. Les éclairages qui fonctionnent durant ces plages de nuit seront plus impactants (néanmoins, ce sont les périodes où la société a le plus de besoins en éclairage). Cependant, tout éclairage éteint en cours de nuit sera meilleur qu'un éclairage allumé tout au long de la nuit.
- **Les zones éclairées** : enfin, la localisation géographique et l'environnement éclairé est le dernier paramètre source d'enjeux. Une route éclairée dans une forêt aura plus d'impact qu'une source en milieu urbain.

En conclusion, la pollution lumineuse directe est causée par les flux lumineux eux-mêmes, tandis que la pollution lumineuse indirecte, ou halo lumineux, résulte de l'accumulation de conditions lumineuses modifiant l'obscurité naturelle. Les effets varient selon les espèces et les paramètres des éclairages, et des études spécifiques sont nécessaires pour comprendre et atténuer ces impacts sur la biodiversité locale.



Les principaux impacts de la pollution lumineuse :

Les impacts écologiques :

Que ce soit la faune, la flore, la fonge (champignons) ou de manière générale l'équilibre des écosystèmes, l'ensemble des êtres vivants exposés à de la lumière artificielle peuvent être perturbés. Les espèces diurnes ont besoin de l'obscurité pour entrer en phase de sommeil alors que les espèces nocturnes ont besoin de l'obscurité pour se nourrir, se reproduire, se déplacer ou encore migrer.

Il existe plusieurs types de réponses de la faune face à l'éclairage :

- **Phototaxie positive** : l'espèce va être attirée par la lumière. Ce phénomène est un réflexe biologique des espèces qui sont attirées par la source lumineuse, se trouvant désorientées et/ou piégées au sein des flux lumineux. C'est le cas des insectes nocturnes notamment, mais aussi des oiseaux migrateurs.
- **Phototaxie négative** : l'espèce va être repoussée ou gênée par la lumière. Dans un souci de camouflage et pour éviter d'être vues par leurs prédateurs, ces espèces vont fuir la lumière et vont se retrouver dans des espaces toujours plus restreints. C'est le cas de nombreux mammifères et reptiles ou encore des crapauds qui ne chantent plus en présence de lumière.
- **Opportunisme** : dans le cadre des relations proies/prédateurs, certaines espèces prédatrices ont compris les réponses de leurs proies et vont venir en profiter. C'est le cas par exemple des araignées qui construisent leur toile sous les lampadaires pour attraper les insectes nocturnes à phototaxie positive... Ce phénomène modifie fortement les relations « proie/prédateur ».

Barrière écologique : la pollution lumineuse devient une barrière écologique qui entrave la cohérence des écosystèmes. Au même titre qu'une infrastructure, la faune n'a plus la capacité de traverser une rangée continue de lampadaires.

La pollution lumineuse impacte aussi la flore, notamment sur la qualité de la photosynthèse et des cycles saisonniers. Les effets sur la fonge sont encore au stade d'étude, mais déjà plusieurs expériences ont montré un lien possible sur le développement de certains champignons.

Impacts sanitaires :

Tout comme la faune diurne, l'Homme a besoin de la lumière comme de l'obscurité. La nuit et ses différentes séquences sont indispensables pour le bon fonctionnement de son horloge biologique. La présence de lumière repousse le moment de l'endormissement, diminue la sécrétion d'hormones (notamment la mélatonine, l'hormone du sommeil) entraînant fatigue, anxiété et stress. Plusieurs autres corrélations entre lumière et santé sont soupçonnées et sont en cours d'études.

Impacts sur le ciel étoilé :

La présence de halos lumineux empêche la vision de l'ensemble du paysage étoilé. De nombreuses étoiles et la voie lactée ne sont plus visibles dans les espaces urbanisés et parfois sur plusieurs kilomètres. Ce problème est particulièrement limitant pour les activités des astronomes amateurs et professionnels sur le territoire français, et pour les habitants qui ne peuvent plus jouir du paysage étoilé (patrimoine commun reconnu).

Impacts sur le gaspillage énergétique et changement climatique :

La pollution lumineuse est indirectement liée au gaspillage énergétique et au changement climatique. La mauvaise gestion, l'utilisation inadaptée aux besoins, l'utilisation d'appareils énergivores induisent un gaspillage énergétique et d'émission de CO2 (le parc d'éclairage public représente 5,6 TWh, soit plus de 500 KteqCO2 en France).

La méthodologie de l'étude



La méthodologie déployée :

Cette étude fait suite à une première étude sur le projet de maison d'arrêt dont le périmètre est proche. Cette première étude a donné l'occasion de :

- Réaliser une prospection de terrain pour relever les informations utiles sur les points lumineux (localisation, analyse du matériel et des flux lumineux). L'état initial de la première analyse est réutilisé dans cette étude ;
- D'analyser les enjeux environnementaux dédiés au présent complément d'étude ;
- De modéliser les éclairages et la pollution lumineuse de ce nouvel ouvrage

Informations complémentaires par rapport à la méthode :

La méthodologie proposée est issue de nombreuses années d'expérience et de tests pour tenter d'avoir une vision concrète des enjeux pour l'environnement nocturne. *BL évolution* a ainsi déployé de nombreux outils (notamment de modélisation) et des connaissances et expertises pour répondre au mieux à cette problématique.

Il est cependant important de noter que la question de la pollution lumineuse dispose d'un socle de connaissances solide mais qui reste un sujet relativement récent avec certaines incertitudes. C'est le cas par exemple de la réponse des espèces, où certains taxons sont bien mieux connus que d'autres. *Ainsi nous avançons au rythme de la recherche scientifique.*

Elaboration de l'état initial :

L'état initial de l'environnement nocturne poursuit l'objectif d'établir un état des lieux de la composante nocturne de l'environnement avant la réalisation du projet. Cet état initial servira de référence dans l'étude, il sera comparé avec la simulation prédictive de la pollution lumineuse du projet pour définir les incidences négatives sur l'environnement nocturne.

La scénarisation prédictive de la production de la pollution lumineuse par le projet

L'objectif de cette deuxième phase est d'estimer l'influence du futur projet sur la production de pollution lumineuse. Dans ce sens, nous établissons une modélisation de la pollution lumineuse directe et indirecte du projet à partir des données fournies. Ces données sont principalement les emplacements et périmètres du projet ainsi que les exigences réglementaires d'éclairage pour un tel ouvrage. À partir de ces données génériques, nous établissons une simulation des émissions de lumière.

L'étude des impacts du projet

L'objectif de cette phase est d'identifier l'inflexion de l'environnement nocturne en présence du projet. Pour cela, nous réalisons une estimation de l'impact qu'aura le projet par rapport à l'état initial, en considérant l'état projeté.

Les solutions pour éviter et réduire les impacts.

La dernière phase de notre méthodologie vise à produire des préconisations et solutions pour réduire et éviter les effets négatifs du projet. Nous recherchons à répondre au mieux aux enjeux identifiés dans l'étude d'impact pour définir des solutions techniques concrètes pour éviter et réduire les impacts. Néanmoins, une nouvelle fois, l'étude intervient à un stade où les éléments d'éclairage ne sont pas ou peu connus.

* Les modalités de la collecte de données sont précisées en annexe du document



La particularité des unités

Les données et unités utilisées tout au long de cette étude peuvent présenter certaines particularités techniques qui sont expliquées ici. En effet, certaines sources de données peuvent être un peu complexes à se saisir. Ainsi, ce chapitre cherche à expliquer, de manière la moins technique possible, les données et leurs unités.

Pollution lumineuse directe :

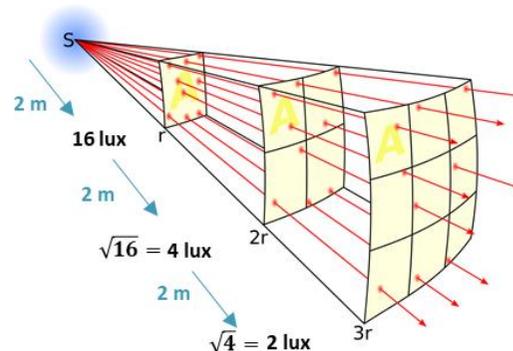
Les principales données utilisées pour comprendre la pollution directe sont le flux lumineux et l'éclairement.

- **Le flux lumineux** : le flux lumineux est la *grandeur photométrique** qui caractérise la puissance lumineuse d'une source. L'unité correspondante est le *lumen (lm)*. Il s'agit d'une donnée technique des sources connues (par connaissance du type et de la puissance de l'ampoule) mais qui n'est pas mesurable.
- **L'éclairement** : l'éclairement lumineux est lui mesurable et correspond à la sensation humaine sur la manière dont une surface reçoit un flux lumineux. Plus concrètement, il s'agit du quotient de flux lumineux reçu par un élément de surface (en m^2). L'unité de l'éclairement est le **lux**. Un lux est donc :

$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lm}}{m^2}$$

L'éclairement dépend de la puissance lumineuse du flux, mais aussi de la distance de la source lumineuse. C'est-à-dire que plus on s'éloigne de la source, plus l'éclairement diminue. *Cette diminution est régie par la loi des carrés inverses.*

Loi des carrés inverses :



La pollution lumineuse indirecte :

Pour la pollution lumineuse indirecte, les mesures et les unités sont nettement plus techniques, une nouvelle fois ce paragraphe nécessaire tente au mieux d'expliquer de manière synthétique et non technique les mesures. Deux mesures sont utilisées :

- **La radiance** : la radiance (ou luminance énergétique) est la puissance par unité de surface d'un rayonnement lumineux, dans un angle solide (en stéradian ou sr), émis en un point. Ce qu'il faut en comprendre, c'est qu'il s'agit cette fois d'une mesure d'énergie et non d'une *grandeur photométrique*. Cette donnée, que l'on va utiliser, est issue d'une mesure prise par un satellite (qui porte le nom de *VIIRS pour Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) qui va permettre de **comprendre l'émission de lumière en direction du ciel** et donc d'estimer la puissance de la source qui alimente le halo lumineux. Les données de radiance du satellite sont exprimées en nano-watt par centimètre carré par angle solide, soit :
 - **nW/cm²/sr**

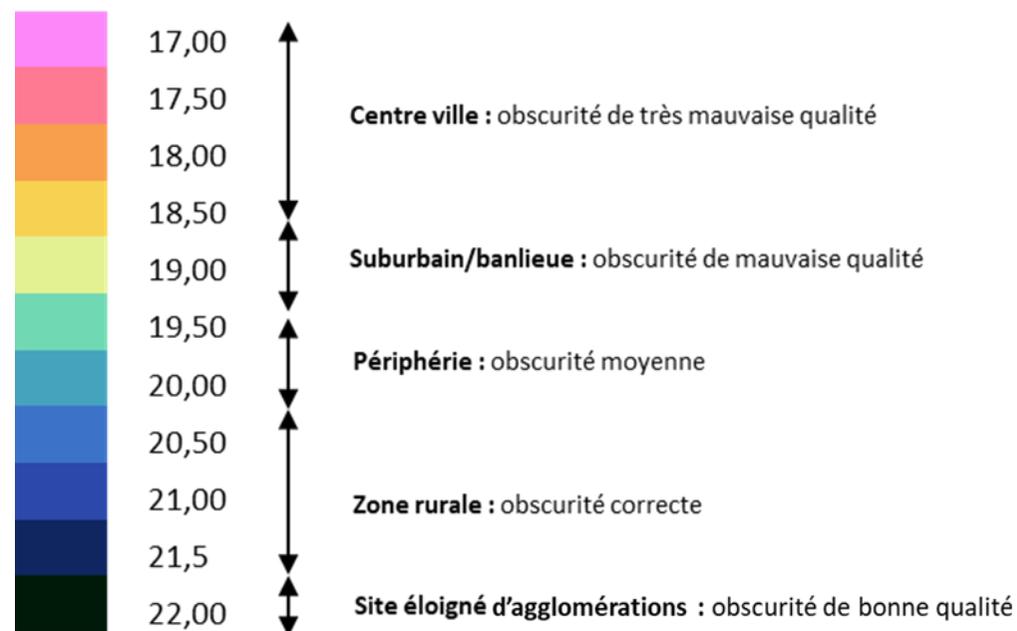
* A noter que lorsqu'on parle de grandeur photométrique cela implique une donnée ou une mesure qui est issue d'un ressenti par la vision **humaine**. Il s'agit donc d'une sensation visuelle de l'œil humain. Les ressentis de la faune peuvent être différents, mais ne peuvent être estimés.



Précisions sur les données

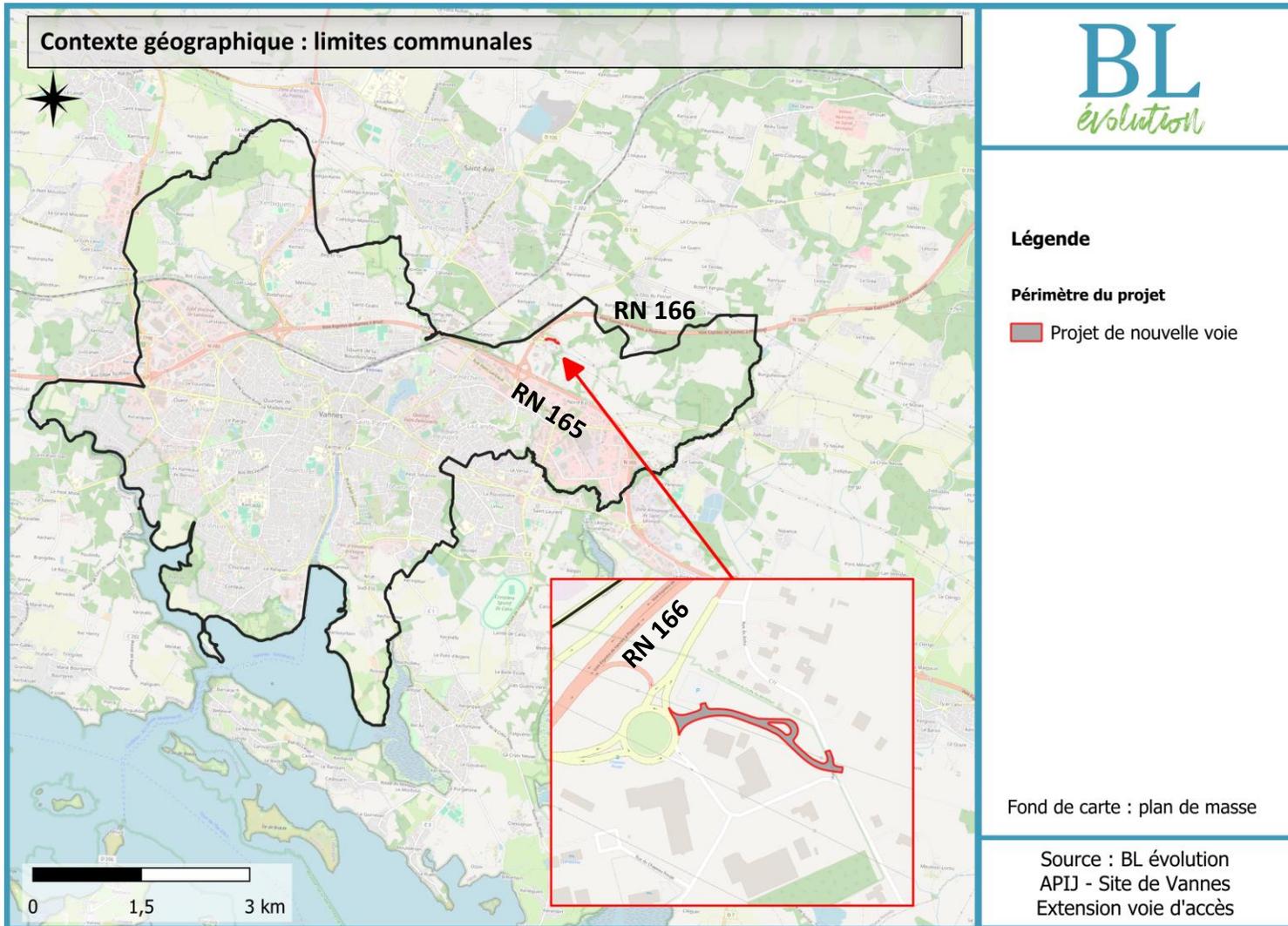
- La **magnitude par arc seconde** : peut-être la plus complexe des mesures, la magnitude par arc seconde est une donnée issue de l'astrophysique, qui correspond à une mesure de la *brillance d'une surface* d'un corps céleste et qui désigne la densité de flux reçue par unité d'angle solide. **Il faut comprendre cela comme une mesure de luminosité d'un objet.** Dans notre cas, l'objet mesuré est le ciel nocturne pour estimer sa luminosité en fonction de la lumière qu'il reçoit et de la diffusion de cette lumière dans l'atmosphère. **Il s'agit donc d'une variable permettant de donner une intensité au halo lumineux.** C'est à partir de cette mesure de l'intensité halo lumineux que nous comprenons la qualité de l'obscurité du ciel d'une zone. La magnitude est donnée en **mag/arcsec²**.
- Dans l'étude de la pollution lumineuse, ces unités sont bornées en moyenne entre 17 mag/arcsec² et 22 mag/arcsec². L'autre particularité complexe mais nécessaire à comprendre pour bien évaluer les résultats de l'étude, c'est qu'il s'agit d'une *unité impliquant une échelle logarithmique*. Pour faire simple, cela implique une analyse inversée dans la compréhension des résultats. C'est-à-dire : **une magnitude élevée implique une bonne obscurité** et à contrario, **une magnitude faible implique une obscurité de mauvaise qualité**.
- Cette qualité d'obscurité du ciel est mesurable avec un Sky Quality Meter (voir les outils de mesure en annexes) et peut aussi être estimée via une modélisation complexe pour passer de la radiance à la qualité de l'obscurité du ciel.

Pour rendre compte de cette implication, une échelle est proposée et comparée avec des caractéristiques urbaines :



Le contexte du projet

Contexte du site étudié

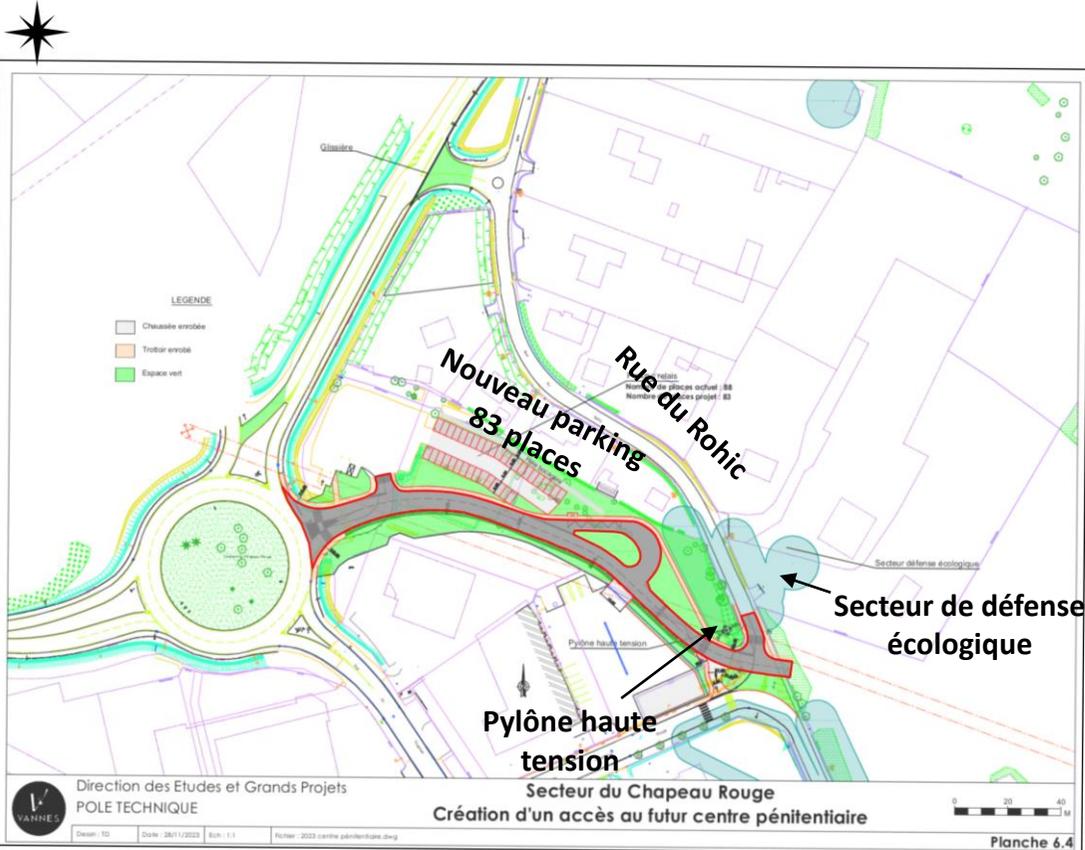


Ce travail entre dans le cadre de l'étude d'impact commandée par l'APIJ (Agence Publique pour l'Immobilier de la Justice). *BL évolution* a été sollicité pour étudier l'influence de la création d'une nouvelle route sur l'environnement nocturne local dans le cadre de la production de pollution lumineuse. Cette étude se justifie par la présence prévue d'éclairage et, par conséquent producteur potentiel d'impacts sur la biodiversité et la santé humaine.

Le site étudié se situe à l'extrémité nord-est de la commune de Vannes, au nord de la zone d'activité « Le Chapeau Rouge », au nord de la RN165 et au sud de la RN166.

Définition des périmètres

Limite du projet : création d'une nouvelle voie d'accès



BL
évolution

Légende

Périmètre du projet

■ Projet de nouvelle voie

Fond de carte : plan de masse

Source : BL évolution
APIJ - Site de Vannes
Extension voie d'accès

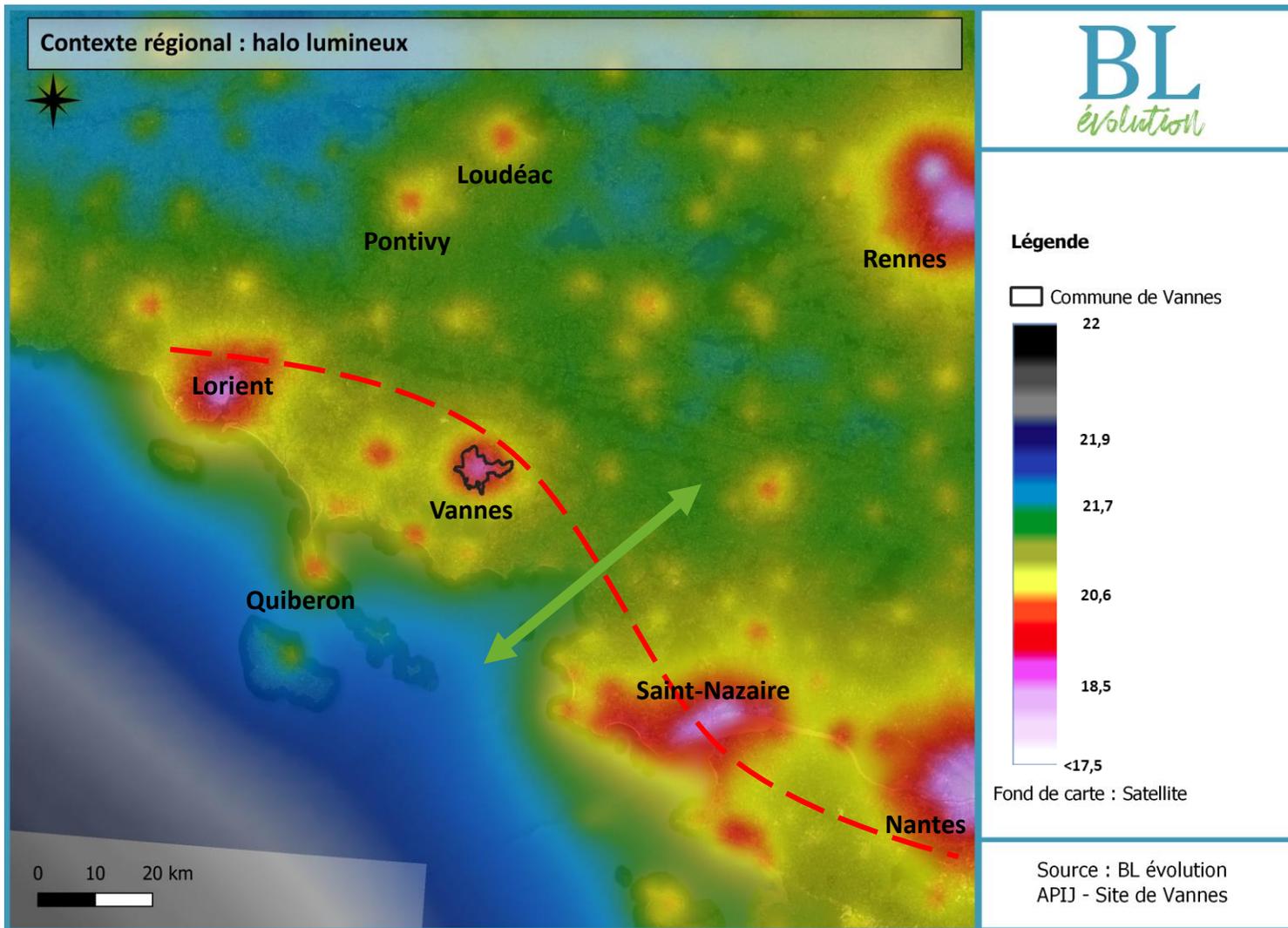
La future voie d'accès au centre pénitentiaire en projet porte l'objectif de relier le rond-point existant à l'ouest de la zone d'étude à la rue du Rohic actuellement en place.

Cette future voie d'accès traverse des milieux plutôt urbains, dont un parking de co-voiturage. En plus de garantir une voie d'accès nécessaire pour le futur centre pénitentiaire, elle engage la réorganisation du parking et accueillera un nouvel arrêt de bus.

Le parking actuel comprend 88 places et le futur projet engagera un parking de 83 places.

A noter, la présence d'un pylône à haute tension sur la partie ouest du nouveau projet, ainsi qu'un secteur de défense écologique (matérialisé par un tampon bleu).

Compréhension du contexte lumineux régional



Pour mettre en contexte l'étude de la pollution lumineuse, il est pertinent de comprendre en amont le contexte régional du halo lumineux des agglomérations alentour.

L'atlas de la pollution lumineuse est une source de données issue d'un travail de recherche *opensource* qui permet de comprendre la diffusion du halo lumineux à l'échelle mondiale. Cet atlas, au vu de l'échelle étudiée, reste peu précis, mais permet de comprendre le contexte dans lequel s'inscrit le projet.

Le site se situe au sein du halo lumineux de l'agglomération de Vannes, une des principales sources de pollution lumineuse à proximité. On note une certaine continuité sur l'ensemble de la côte atlantique entre Lorient et Saint-Nazaire. Cette continuité reste assez peu intense entre les agglomérations.

Donc, à une échelle régionale, il existe une certaine obscurité entre Vannes et Saint-Nazaire, qui peut se montrer comme un axe propice pour des migrations à grande échelle, comme celle des oiseaux migrateurs.

Au nord de cette ligne et à l'ouest de Pontivy, il existe un ciel de bonne qualité.

L'état initial de l'environnement nocturne

Analyse des données

La réalisation de l'état initial de l'environnement nocturne s'intéresse à l'étude des éclairages publics qui sont présents au sein du périmètre d'étude élargi. Chaque point lumineux a fait l'objet d'un recensement de sa localisation (GPS), des paramètres du point lumineux (type de lampadaire, ULOR, hauteur, type d'ampoule et températures de couleurs pour les LED), des caractéristiques des flux (éclairage (luxmètre) au sol et distance maximale d'influence lorsque mesurable).

Analyse des éclairages

Au total, 36 sources de lumière artificielle ont été recensées au cours de la visite de terrain menée dans le cadre de l'étude de la Maison d'arrêt de Vanne (29/03/2022), dans un périmètre proche. Ce chiffre se veut être le plus exhaustif possible, il exclut cependant les possibles éclairages appartenant au domaine privé inaccessibles, ou des sources qui n'étaient pas en état de fonctionnement au cours de la collecte. Si le périmètre du projet ne dispose d'aucun point lumineux directement sur son périmètre, plusieurs sources sont présentes au sud. A noter que tous les autres axes routiers à proximité ne disposent d'aucune source d'éclairage.

Parmi ces points lumineux, un seul type de lampadaire est identifié. Il s'agit d'éclairage de type voirie. Deux types d'ampoules ont été recensés :

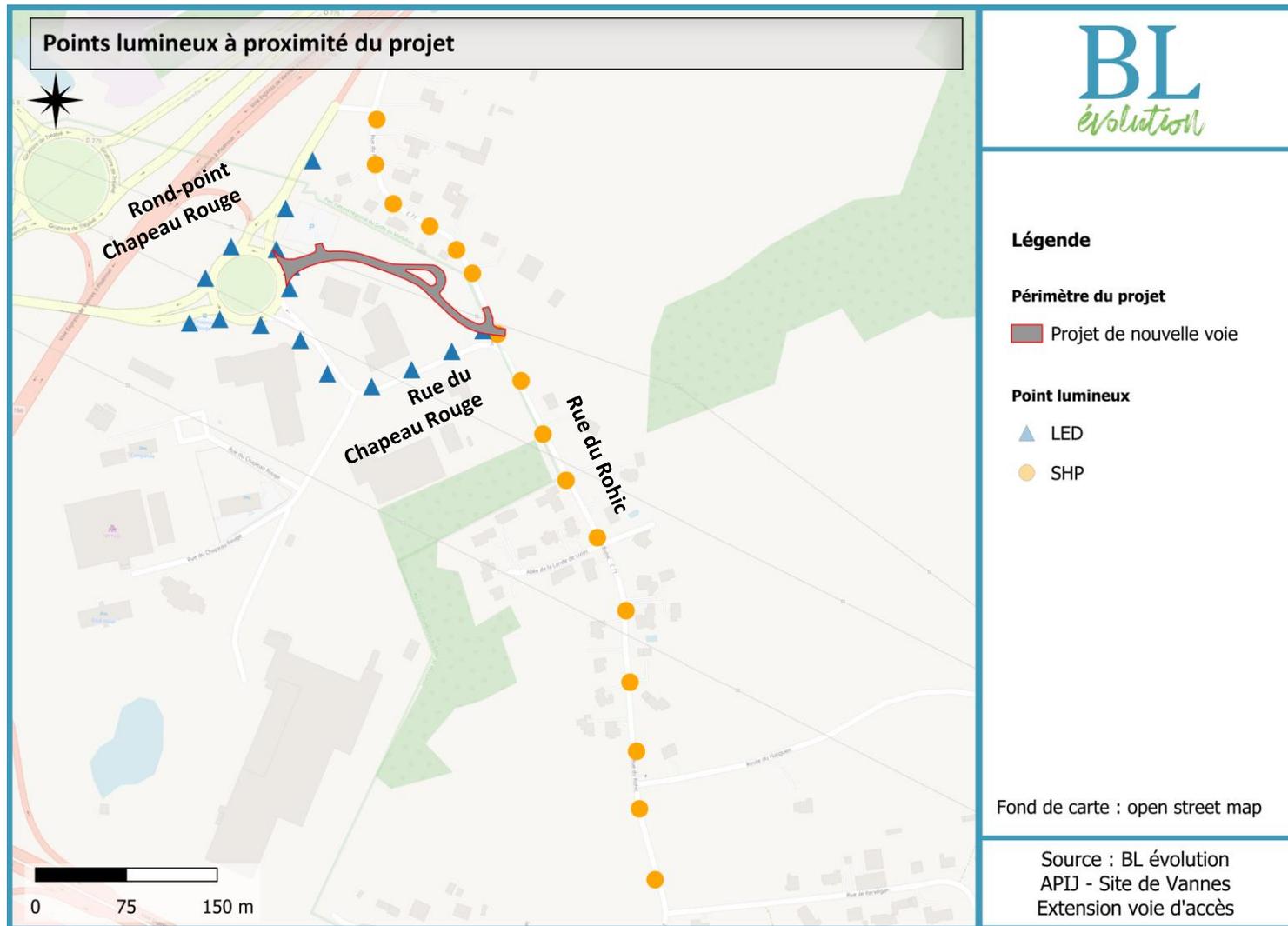
- Des ampoules LED ;
- Des ampoules SHP.

Aucun éclairage privé n'est présent à proximité du périmètre.

A noter que ces éclairages s'éteignent à minuit.

Eclairage voirie	
	
Les éclairages de voirie sont des lampadaires classiques, avec une maîtrise des flux dépendant de la hauteur et une puissance variable.	
10 sources identifiées de type LED :	16 sources identifiées de type SHP :
<ul style="list-style-type: none">• Intensité faible• Hauteur faible (6m)• Lumière blanche (3000K)• ULOR 0%	<ul style="list-style-type: none">• Intensité faible• Hauteur moyenne (8m)• Lumière orange• ULOR 5%
Indice pollution lumineuse : moyen	Indice pollution lumineuse : faible

Cartographie des éclairages



L'ensemble des sources identifiées se situent à l'est et au sud du projet.

- Les éclairages LED sont présents sur la rue du Rohic
- Les éclairages SHP se situent sur la rue du Chapeau Rouge et sur le rond-point du Chapeau Rouge

23 points lumineux sont particulièrement proches des limites est et ouest du projet de la voie d'extension.

La méthodologie proposée par *BL évolution* est une modélisation cartographique de l'éclairement moyen d'une source. Reprenant des calculs de photométrie, le modèle permet une estimation fiable de l'éclairement moyen reçu au sol selon une maille à taille fixe.

L'éclairement est une donnée particulièrement pertinente pour permettre de visualiser le phénomène de pollution lumineuse directe et de comprendre l'influence de chaque source lumineuse et de la conjugaison de l'ensemble des flux lumineux des sources.

La modélisation en tout point de l'éclairement moyen va dépendre de nombreux facteurs qui ont été calculés puis modélisés via un logiciel SIG et un outil de modélisation. La carte de l'éclairement suivante est créée de manière automatique à partir des principales données suivantes entrées dans le logiciel :

- La localisation du point lumineux ;
- L'angle du flux lumineux ;
- L'intensité estimée ;
- La hauteur des mâts.

L'éclairement moyen permet d'avoir une analyse spatialisée de la dynamique des flux lumineux présents sur le périmètre et des zones éclairées pour un pas fixé à 1m² pour estimer les zones plus ou moins impactées. La dynamique d'éclairement permet aussi de détecter de potentiels « hotspots » de production de pollution lumineuse directe si de nombreuses sources sont présentes.

Interprétation :

Le passage de données ponctuelles de lumière à une spatialisation du flux lumineux peut impliquer quelques points de vigilance quant à l'interprétation :

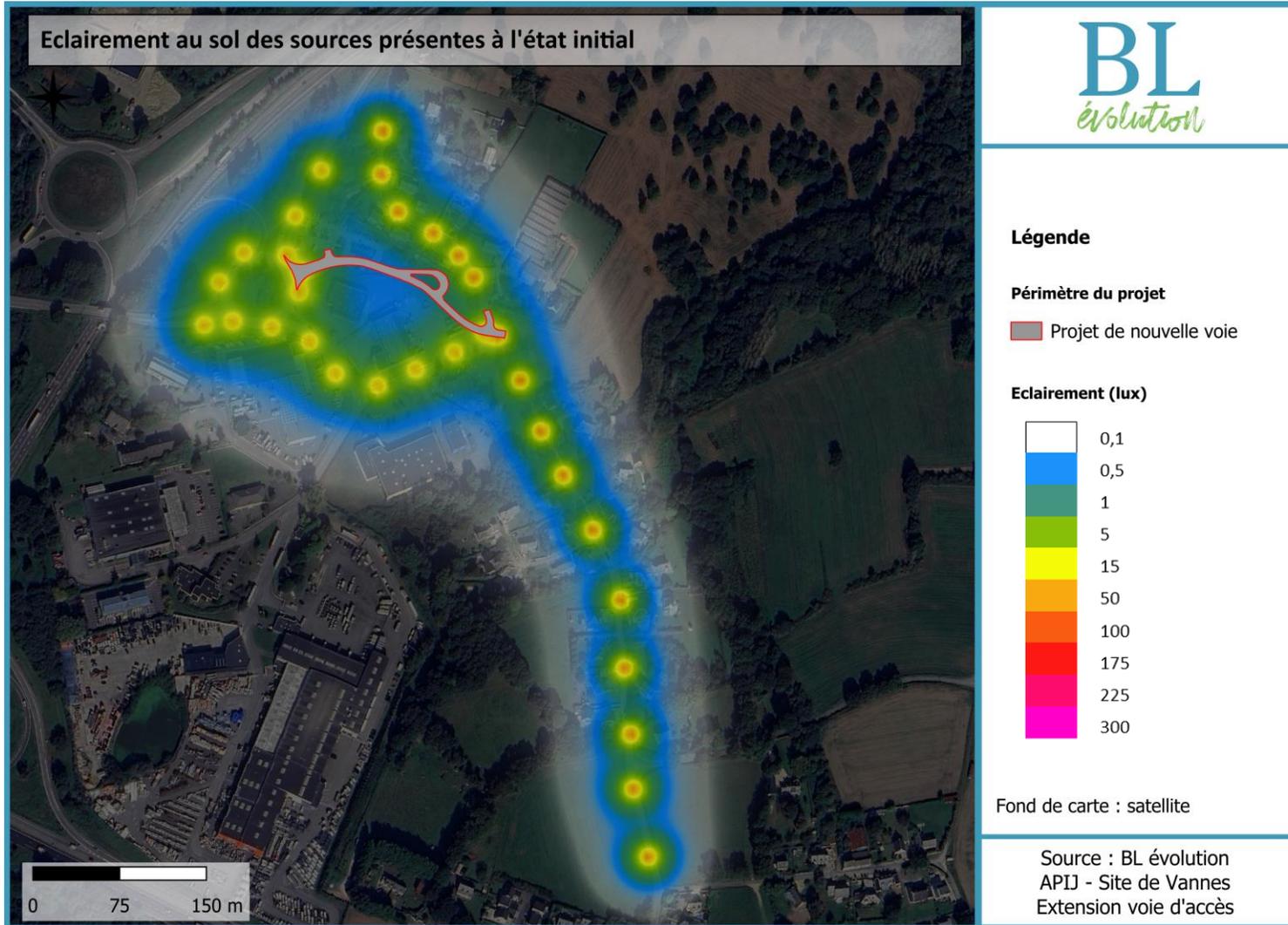
- Les sources lumineuses sont considérées lambertiennes. C'est-à-dire qu'il s'agit d'une source lumineuse dont la luminance est identique dans toutes les directions. Les possibles orientations des flux lumineux, qui nécessiteraient une exploration nettement plus importante (connaître la marque et le modèle de la lanterne) n'interviennent pas dans la modélisation.
- L'analyse est en deux dimensions. Cela implique que la diffusion réelle du flux pourrait être coupée par des éléments physiques (haies, bâtiments ou encore barrières). Néanmoins, dans les espaces ouverts ou partiellement ouverts (entre deux bâtiments) la modélisation de la distance joue un rôle majeur dans une perspective pour adapter l'éclairage.

Néanmoins, dans une analyse avec peu de points lumineux et dans le contexte périurbain auquel le projet est confronté, ces limites restent relatives et interfèrent peu sur l'interprétation finale.

L'éclairement moyen du site :

La carte suivante montre les résultats de la modélisation de l'éclairement. La limite d'éclairement de l'analyse est fixée à 0,1 lux. On notera que certaines espèces, comme certains amphibiens, peuvent être sensibles à un éclairage aussi faible. La lumière naturelle se situe autour de 0,1 lux (étoiles et voie lactée), la lumière de la pleine lune peut impliquer jusqu'à 1 lux au sol. Au-delà de 0,1 lux, les enjeux de pollution lumineuse directe sont considérés comme nul.

Modélisation de l'éclairage



La modélisation de l'éclairage montre une influence relativement restreinte de la pollution lumineuse directe à l'état initial.

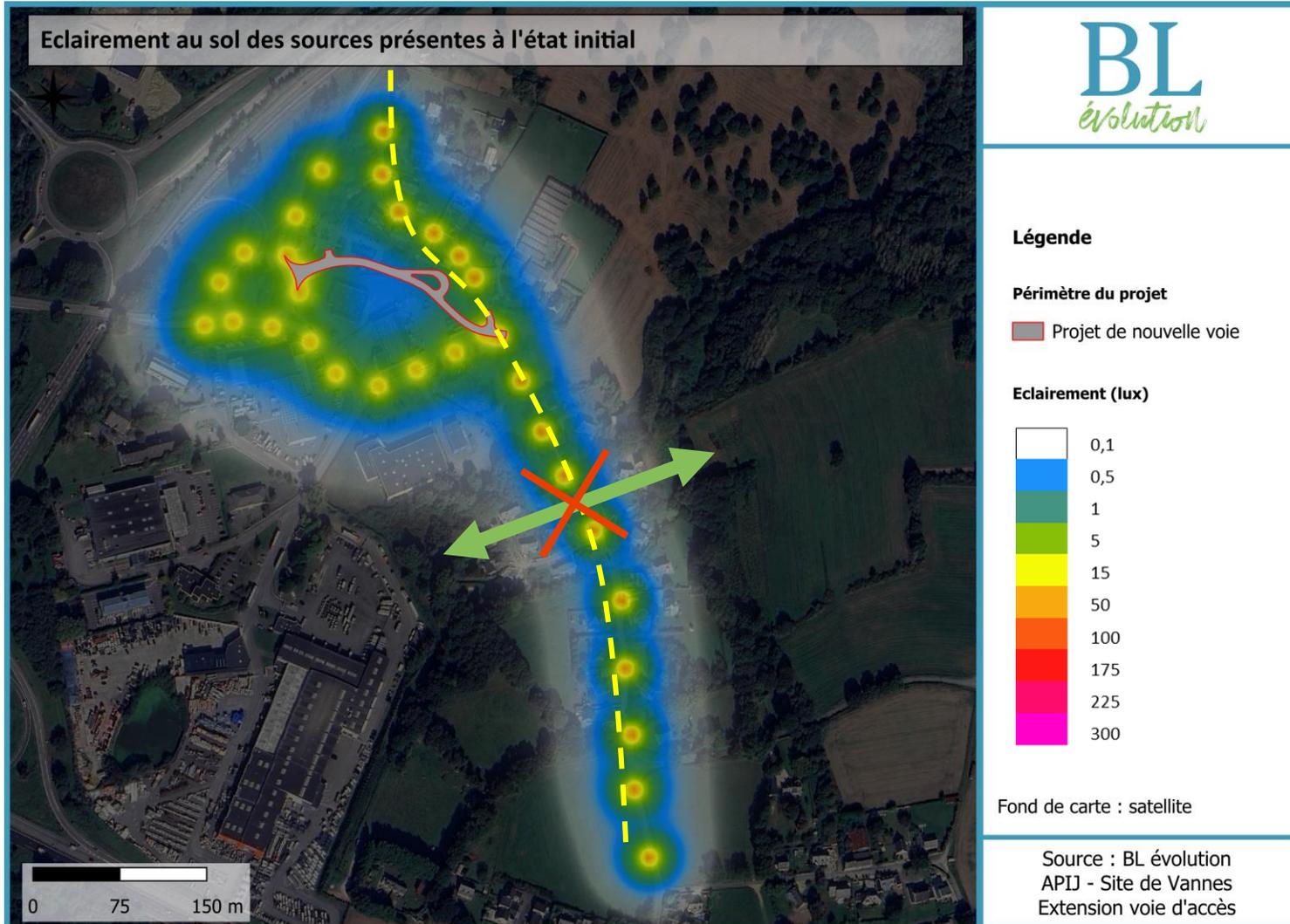
Les éclairages des rues du Rohic et du Chapeau Rouge, y compris le rond-point, vont impliquer un éclairage qui empiète sur l'est et l'ouest du périmètre du projet.

A l'est du périmètre du projet se situe, au niveau du croisement des deux rues, des points lumineux proches. Cette densité de points lumineux plus élevée implique une superposition d'éclairage qui s'additionne, faisant apparaître un espace plus lumineux que le reste de la zone d'étude.

Ainsi, il s'agit de zone la plus exposée à la pollution lumineuse directe à l'état initial.

A partir de minuit, aucune pollution lumineuse directe n'est présente sur le périmètre du projet, car les lampadaires sont éteints.

Impact de la pollution lumineuse directe à l'état initial



Il existe **une continuité nord-sud d'éclairage**, sur la rue du Rohic.

Au-delà d'impliquer un éclairage direct à l'intérieur du projet, cette continuité peut impliquer une barrière écologique artificielle du point de vue de la pollution lumineuse (trame noire).

Dans ce sens, la présence de cette continuité se présente comme un obstacle aux migrations potentielles en direction de l'ouest.

L'ouest étant un espace urbanisé, d'autres enjeux d'artificialisation des sols viennent s'ajouter à cette problématique. Cette continuité d'éclairage est surtout à considérer comme un facteur de pression supplémentaire à la cohérence des écosystèmes.

A partir de minuit, ces éclairages n'apparaissent plus comme un obstacle.

Définition d'une situation de référence

Pour étudier la pollution lumineuse indirecte, une campagne de mesure avait été menée avec un appareil SQM (effectuée le 29/03, lors de la campagne de terrain pour la phase précédente pour le projet de centre pénitentiaire).

Au regard du temps qui sépare ces deux études (2 ans), les conditions de halo lumineux n'ont pas connu d'évolution majeure (confirmée par les analyses du VIIRS qui montrent une radiance similaire entre 2022 et 2023, la dernière année disponible, [voir ici](#))

23 mesures ont été prises au total. Pour rappel, l'étude se fait par deux types de données :

- Des données ponctuelles : l'opérateur se déplace pour qualifier l'obscurité sur des zones préalablement sélectionnées.
- Une donnée continue : un appareil (SQM LU-DL) fait une prise longue d'information durant toute la période de mesure (toutes les 5 mn).

La réalisation d'une prise de mesure en continu sur l'ensemble de la nuit va permettre de connaître l'évolution de la qualité de l'obscurité tout au long de la phase de collecte. Cette démarche est importante, car l'obscurité peut évoluer au cours d'une nuit. Notamment, la présence de nuages peut perturber les mesures prises.

Les résultats de la prise longue vont donc servir de référence pour calibrer les autres données. C'est le différentiel entre la normale (moyenne) et les mesures qui va permettre de corriger et d'ajuster les données ponctuelles. Les réajustements restent relatifs mais importants pour une meilleure exhaustivité.

Situation de référence

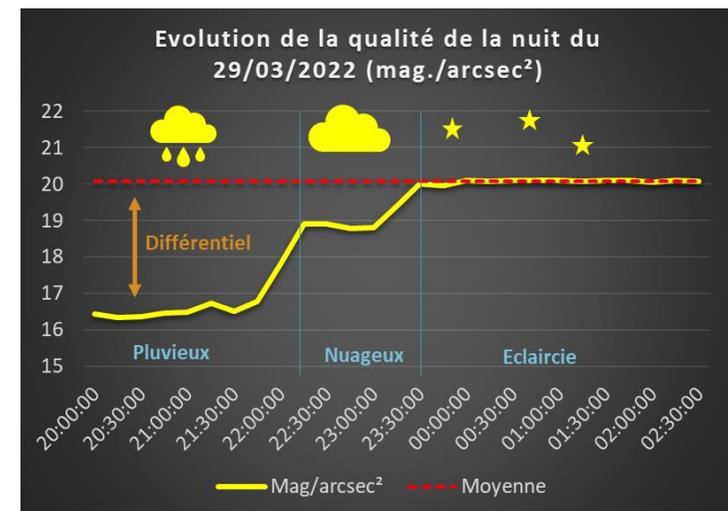
Le graphique ci-contre reprend l'évolution de la qualité de l'obscurité durant toute la période de collecte effectuée à Vannes la nuit du 29/03/2022. La collecte de données a démarré à partir de 20h00 et s'est terminée aux alentours de 2h30 du matin. La situation a été particulièrement instable lors de la nuit de mesure, avec une première période pluvieuse, puis nuageuse et enfin, une belle éclaircie, sans nuage, est venue compléter la nuit.

Durant la première période, aucune mesure n'a été effectuée en présence de la pluie qui ne permet pas d'avoir de résultats satisfaisants. La deuxième période nuageuse se montre déjà plus intéressante pour la prise de mesure, mais cela a impliqué des réajustements par rapport à la situation de référence.

Puis, le vent apparu autour de 23h15 a laissé la place à un ciel particulièrement dégagé, idéal pour la prise de mesure, ne nécessitant aucun réajustement.

La prise de mesures ponctuelles a officiellement démarré aux alentours de 22h45.

La situation de référence se situe autour de 20,10 mag./arcsec².



Le principe de réajustement

Un réajustement pour éliminer les biais issus de la présence de nuages

A cause de la présence de nuages en début de nuit, un réajustement est nécessaire, car une couverture nuageuse, qui reflète la lumière des villes, **perturbe les mesures**.

Grâce à la prise de mesure longue, **nous connaissons l'intensité du biais engendrée par les nuages** (la différence entre les mesures sous couverture nuageuse et la moyenne sans nuage) à chaque moment de la nuit.

Cet écart correspond au différentiel.

Application du différentiel aux mesures ponctuelles

Pour les mesures ponctuelles, nous enregistrons également **l'heure exacte à laquelle elles sont prises**.

Si la donnée ponctuelle est prise avec une présence nuageuse, cela implique qu'elle est surestimée. Donc, avec un ciel plus brillant qu'une situation « normale » de référence.

Ainsi, pour toutes ces mesures ponctuelles prises pendant une période nuageuse, **nous appliquons le différentiel exact en fonction de l'heure à laquelle elles ont été prises**.

Cela va nous permettre d'éliminer les biais issus de la présence de nuages pour les mesures ponctuelles.

Par exemple

Concernant les mesures longues :

- Les **données enregistrées** indiquent : 19,41 mag/arcsec² à **23h30** à cause de la présence de nuages.
- La **situation de référence** pour la nuit est de **20,10 mag/arcsec²** sans nuage.
- Donc, à **23h30**, il existe un **différentiel** de **0,69 mag/arcsec²** par rapport à la situation de référence (20,10 - 19,41).

Concernant la mesure ponctuelle :

- La **donnée ponctuelle** enregistrée à **23h30** est de 20,04 mag/arcsec² avec la présence de nuages.
- Nous ajoutons le différentiel de **0,69 mag/arcsec²** pour ajuster la donnée ponctuelle, soit : $20,04 + 0,69 = 20,73 \text{ mag/arcsec}^2$ afin de **considérer une situation sans nuage**.
- **La donnée retenue est donc 20,73 mag/arcsec².**

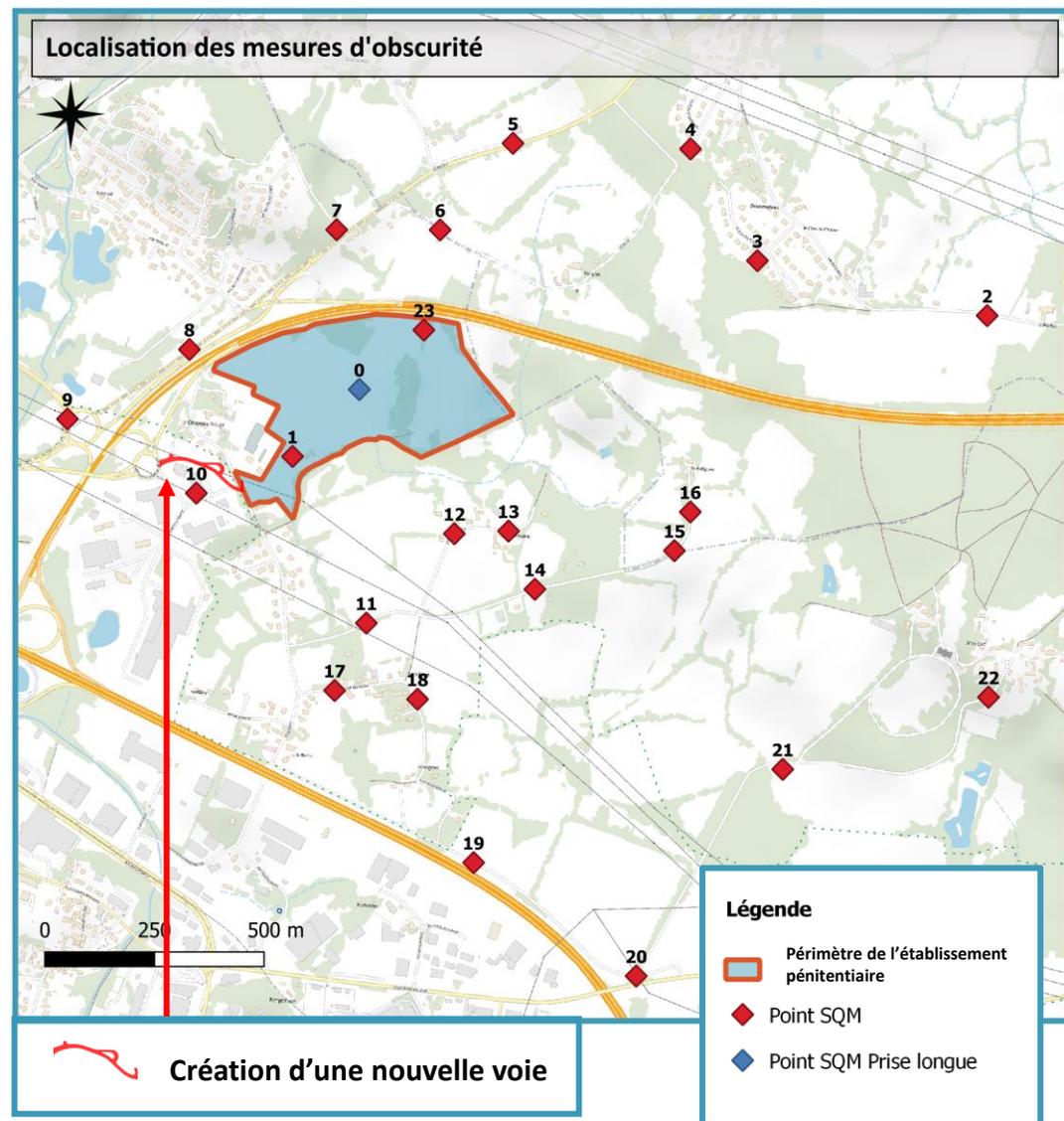
Nous appliquons le différentiel équivalent à toutes les mesures qui ont été prises pendant la période nuageuse. Cette solution nous permet d'estimer la situation s'il n'y avait pas de nuages, pour un résultat homogène.

Données d'obscurité récoltées

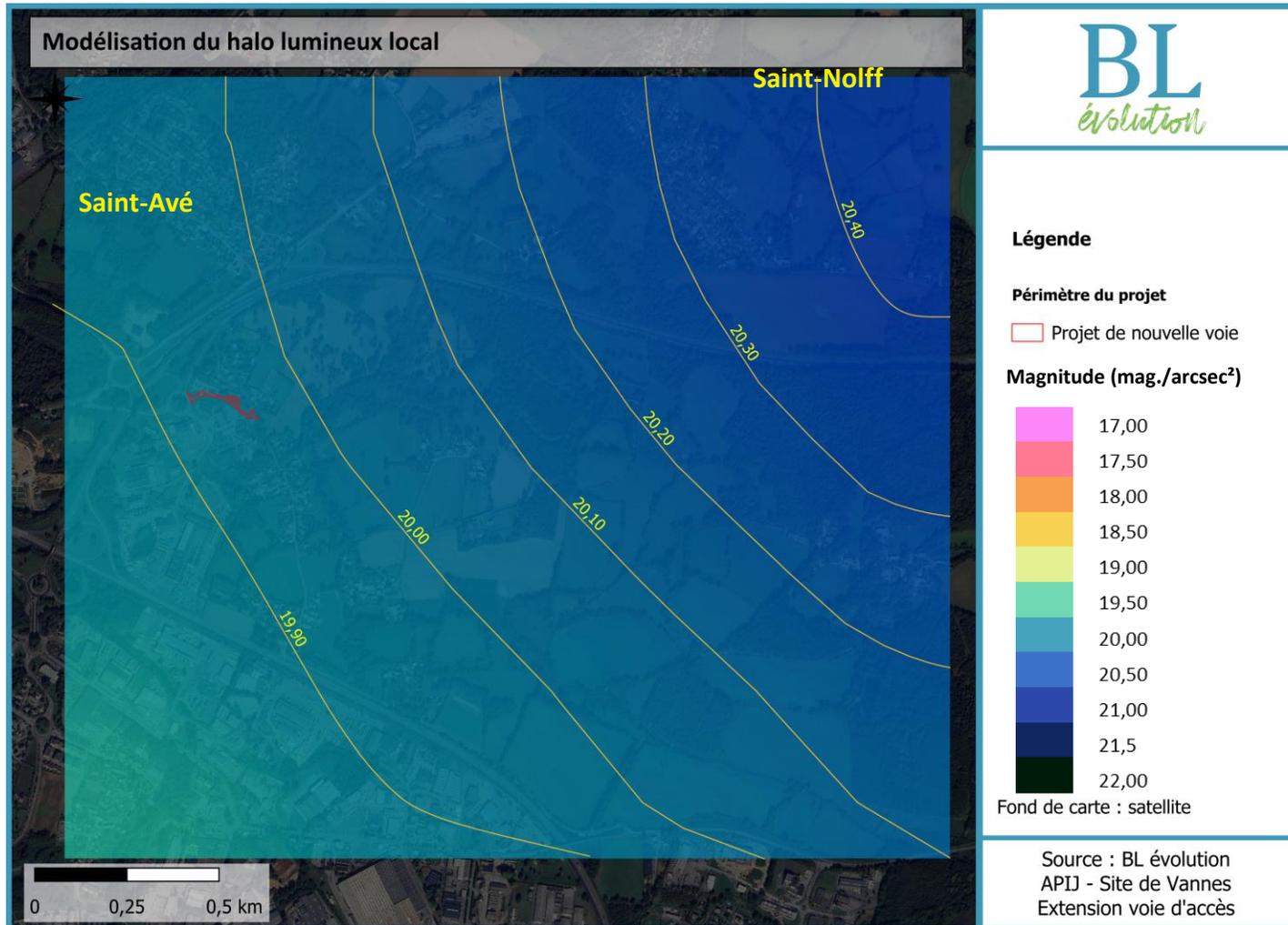
Le réajustement a été effectué sur 7 points de mesure :

ID	Mesures brutes	Réajustement	Mesures retenues
1	18,91	1,19	20,10
3	19,63	1,18	20,81
2	18,96	1,20	20,16
4	19,50	1,19	20,69
5	20,04	0,69	20,73
6	20,41	0,09	20,50
7	20,28	0,14	20,42
8	20,01	0	20,01
9	19,78	0	19,78
11	20,03	0	20,03
12	20,24	0	20,24
13	20	0	20,00
14	19,91	0	19,91
15	20,22	0	20,22
16	20,24	0	20,24
17	19,82	0	19,82
18	19,47	0	19,47
19	19,18	0	19,18
20	20,14	0	20,14
21	20,58	0	20,58
22	20,13	0	20,13
10	19,95	0	19,95
23	20,10	0	20,10
LU DL (0)		20,10	

Carte des points de mesure issue de l'étude pollution lumineuse pour le projet d'établissement pénitentiaire :



Modélisation de la pollution lumineuse indirecte



Carte de la modélisation de l'obscurité

La modélisation du halo lumineux local montre une qualité d'obscurité du ciel oscillant entre 19,90 mag/arcsec² à l'ouest du territoire et 20,40 mag/arcsec² au nord-est. Il s'agit d'un ciel typique des zones proches d'agglomérations, où le halo lumineux commence à se dissiper.

Le halo lumineux est le plus important au sud-ouest, au niveau de la zone d'activité de Chapeau-Rouge.

La partie nord-ouest correspond à l'unité urbaine de Saint-Avé qui reste légèrement perceptible.

Les zones urbaines du nord, qui se situent sur la commune de Saint-Nolff, ne sont pas du tout perceptibles en termes de halo lumineux. En effet, aucun point lumineux n'a été identifié au moment de la prise de mesure. Ainsi, le halo lumineux reste de meilleure qualité sur cette zone.

On notera une évolution plutôt régulière de la qualité de l'obscurité du ciel sur le territoire, qui s'améliore en direction du nord-est.

De manière générale, la qualité de l'obscurité à l'état initial reste dégradée sur le périmètre du projet.

Confirmation de la modélisation

Méthodologie et interprétation

La modélisation du halo lumineux correspond donc à la retranscription des données de qualité d'obscurité du ciel mesurées directement sur le terrain. La méthode consiste à établir une interpolation de surface à partir de données ponctuelles mesurées.

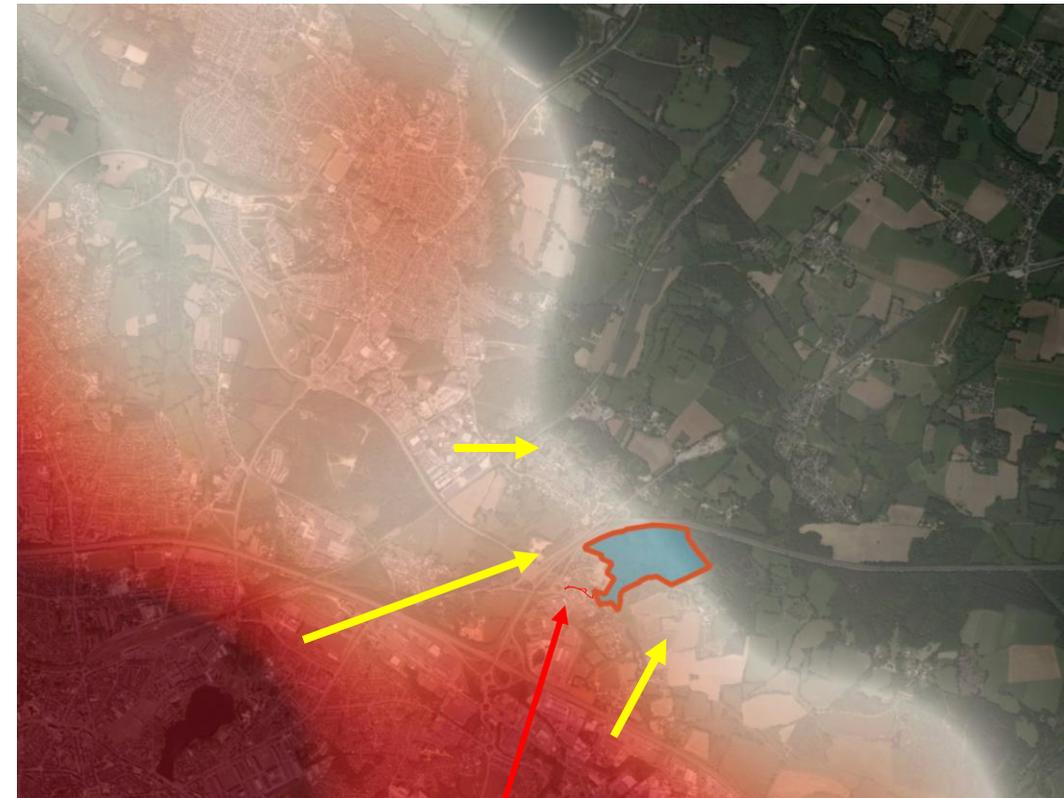
Une méthode qui permet d'estimer le halo lumineux dans son ensemble à partir des mesures ponctuelles effectuées sur le terrain.

Le contexte de l'émission de lumière en direction du ciel :

Afin de valider ces résultats et de comprendre la qualité de l'obscurité du ciel et sa dégradation, il est nécessaire de s'appuyer sur les données de radiance du satellite VIIRS.

Le site connaît une altération locale de son obscurité uniquement par la présence de l'agglomération de Vannes et des espaces urbains à proximité. L'analyse des radiances confirme l'absence de lumière sur la partie nord-est.

La principale source d'altération de l'obscurité sur le territoire d'étude s'explique ainsi par **un halo lumineux global venant des espaces urbains de Vannes**. L'agglomération urbaine de Saint-Avé reste une nouvelle fois perceptible mais peu intense. Ce qui crée une ambiance lumineuse continue qui va progressivement s'estomper en direction du nord-est.



 Création d'une nouvelle voie

 Périmètre de l'établissement pénitentiaire

Radiance

-  Nulle
-  Faible
-  Moyenne
-  Forte

Analyses des enjeux à l'état initial

Enjeux écologiques :

L'état initial s'appuie sur les documents transmis dans le cadre de la mission. Les documents étudiés sont les suivants :

- Complément d'inventaire faune-flore-habitats-zones humides, Ouest-Am, Décembre 2023

Pour établir un état initial de l'environnement nocturne, nous nous intéressons à la question des impacts sur la biodiversité et des impacts sur la santé humaine. Dans ce sens, l'analyse des enjeux s'appuie sur l'étude écologique établie pour le projet.

Au sein de cette première partie, une première définition des enjeux est établie pour rendre compte des potentiels impacts. Il est recherché l'identification des enjeux spatialisés des habitats, des zonages réglementaires et de mettre en avant les commentaires quant aux espèces identifiées dans l'étude écologique.

Enjeux humains :

Concernant les enjeux humains, nous cherchons notamment à appréhender la présence d'habitations au sein de l'aire d'étude. Cette démarche est établie pour estimer l'enjeu de la pollution lumineuse sur la santé humaine qui implique notamment des nuisances sur la qualité de vie et le sommeil.

Pour cette étude, l'objectif est d'identifier les habitations qui sont présentes et qui seront potentiellement touchées. Dans ce sens, le traitement consiste à recouper les données carroyées de l'INSEE (Filosofi) qui localisent le nombre de foyers et les bâtiments issus des données de l'IGN (BD TOPO Bâti).

Récupération des données :

Les données étudiées ici, représentent une synthèse des observations faites sur le terrain, à l'occasion des relevés naturalistes.

Méthodologie

La méthode utilisée dans cette présente étude consiste à reprendre les principaux enjeux connus sur la faune, la flore, les habitats et la cohérence des écosystèmes sur le périmètre du projet. Ces principaux enjeux, formulés sous forme de synthèses, sont comparés ensuite aux enjeux de pollution lumineuse connus sur les espèces et les milieux présents.

Pour chaque espèce à enjeux, nous recherchons à connaître leurs principales réponses à une mise en lumière, en considérant la pollution lumineuse directe et la pollution lumineuse indirecte.

L'étude des impacts, qui sera établie à partir de la simulation des éclairagements du projet, devra permettre de les mettre en situation face à la pollution lumineuse produite par le futur projet.

Enjeux sur la biodiversité : faune/flore

Les données étudiées ici, représentent une synthèse des observations faites sur le terrain, à l'occasion des relevés naturalistes présentée dans l'étude écologique.

Taxons	Caractéristiques	Conclusions du rapport	Niveau d'enjeu retenu
Habitats	<ul style="list-style-type: none"> Présence de fourrés, prairies mésophiles, haies jardins et ville (espace aménagé proche du parking de co-voiturage) 	Aucun habitat d'intérêt communautaire	Faible
Flore	<ul style="list-style-type: none"> Des espèces communes recensées dont deux espèces exotiques envahissantes Présence d'un caractère envahissant 	Peu de potentialité d'accueil d'une flore patrimoniale	Faible
Amphibiens	<ul style="list-style-type: none"> Aucun amphibien observé car pas de milieux aquatiques et des obstacles de déplacements présents 	Zone non propice et donc pas d'enjeu sur les amphibiens	Faible
Reptiles	<ul style="list-style-type: none"> Site sans potentialité pour ce groupe et présence d'obstacles et pas d'abri 	Zone non propice et donc pas d'enjeu sur les reptiles	Faible
Mammifère (hors chauve-souris)	<ul style="list-style-type: none"> Aucune espèce observée et une potentialité d'accueil très faible composée de nombreux obstacles 	Zone non propice et donc pas d'enjeu sur les mammifères	Faible
Chiroptères	<ul style="list-style-type: none"> Cinq espèces inventoriées, dont toutes sont protégées mais pas de patrimoniale. La présence de pipistrelles est largement dominante 	Enjeu globalement faible	Faible
Oiseaux	<ul style="list-style-type: none"> Dix espèces rencontrées, dont la majorité sont affiliées à des milieux urbains. Deux espèces patrimoniales Potentialité d'accueil faible, mais présence d'habitats favorables ponctuels (haies, jardins) 	Un enjeu fort au niveau des jardins arborés	Fort
		Un enjeu modéré au niveau des alignements d'arbres	Modéré
Insectes	<ul style="list-style-type: none"> Diversité faible et aucune espèce protégée 	Enjeu globalement faible	Faible
Zones humides	<ul style="list-style-type: none"> Aucun indicateur de zone humide identifié 	Aucune zone humide	Nul

Enjeux faunistiques et pollution lumineuse

Etat des lieux des connaissances sur les enjeux de pollution lumineuse et la réponse des espèces identifiées.

Taxons	Enjeux de pollution lumineuse	Réponse des espèces
Amphibiens	Les amphibiens peuvent être fortement touchés par la pollution lumineuse, essentiellement en période de reproduction. Plusieurs espèces ont une période de vie la nuit (salamandre tachetée et tritons)	Forte
Reptiles	Enjeux de pollution lumineuse mal connus	Mal connue
Mammifères terrestre	Les espèces présentes sont essentiellement diurne et commune. Le blaireau et certaines espèces de mulots ont une période de vie qui se déroule en partie la nuit. Mais il s'agit d'espèces communes.	Faible
Chiroptères	De nombreuses espèces de chiroptères sont lucifuges et vont donc fuir la lumière. Seules les pipistrelles communes semblent moins sensibles.	Forte
Oiseaux	Les oiseaux nocturnes sont particulièrement impactés par la pollution lumineuse et les oiseaux diurnes sont aussi perturbés (fuite des éclairagements directs, impact sur l'horloge biologique, etc.)	Modérée à forte
Insectes	Les insectes nocturnes sont particulièrement touchés par la pollution lumineuse et les lumières directes sont particulièrement impactantes	Modéré à forte
Habitats	L'éclairage d'habitats favorables réduit drastiquement leur potentialité d'accueil et appauvrissent ainsi les écosystèmes présents	Modéré
Zone humide	Comme pour les habitats, l'éclairage de zones humides a des conséquences fortes sur les espèces associées.	Forte

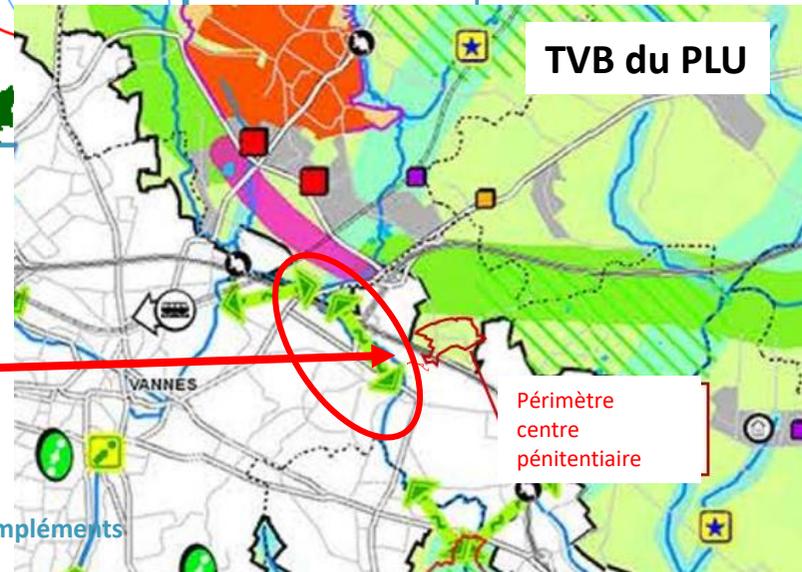
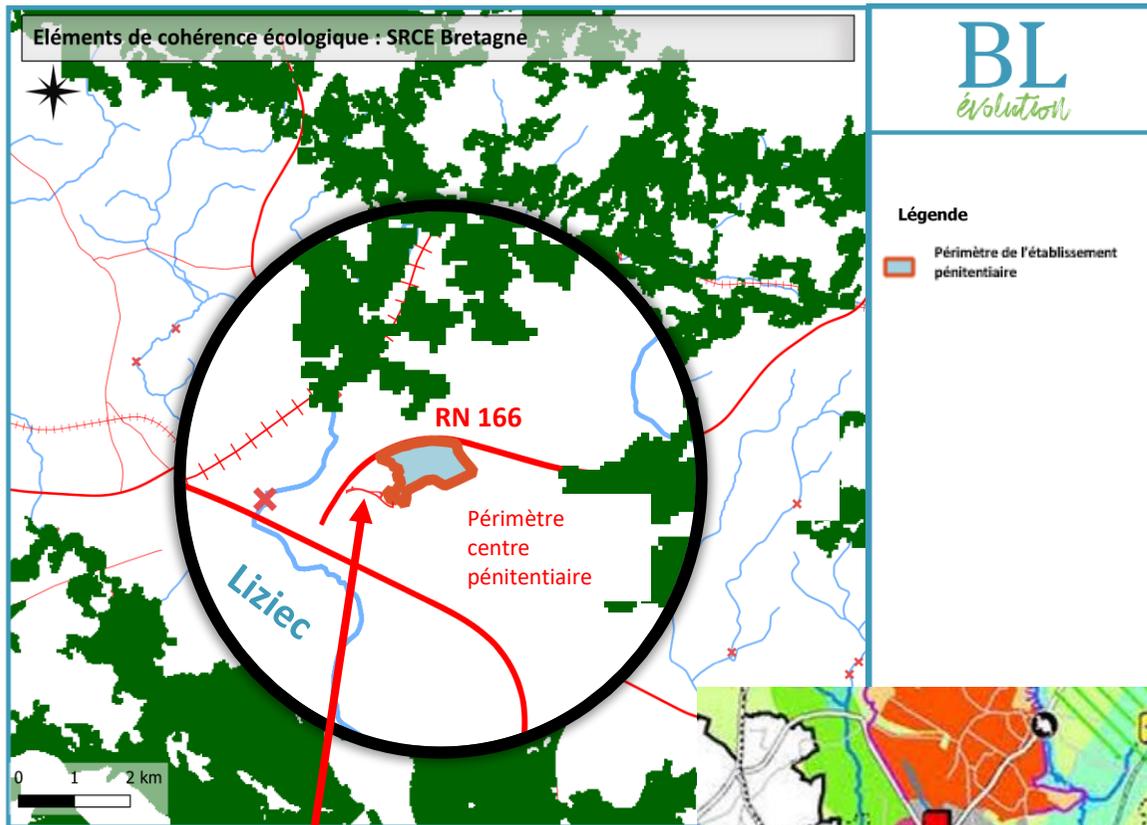
Enjeux faunistiques et pollution lumineuse

Etat des lieux des connaissances sur les enjeux de pollution lumineuse et la réponse des espèces identifiées.

Taxons	Réponse des espèces à la pollution lumineuse	Enjeu relevé par les écologues	Conclusion sur l'enjeu du projet face à la pollution lumineuse
Amphibiens	Forte	Faible	Faible
Reptiles	Mal connue	Faible	Nul
Mammifères terrestres	Faible	Faible	Faible
Chiroptères	Forte	Faible (mais présence de chiroptères)	Modéré
Oiseaux	Modérée à forte	Modéré à fort	Modérée à fort
Insectes	Modéré à forte	Faible	Faible
Habitats	Modéré	Faible	Faible
Zone humide	Forte	Nul	Nul

Le croisement des informations montre que les principaux enjeux sur le périmètre s'orientent sur l'avifaune en priorité, puis sur les chiroptères.

Autres enjeux inhérents : la cohérence écologique, trames vertes et bleues



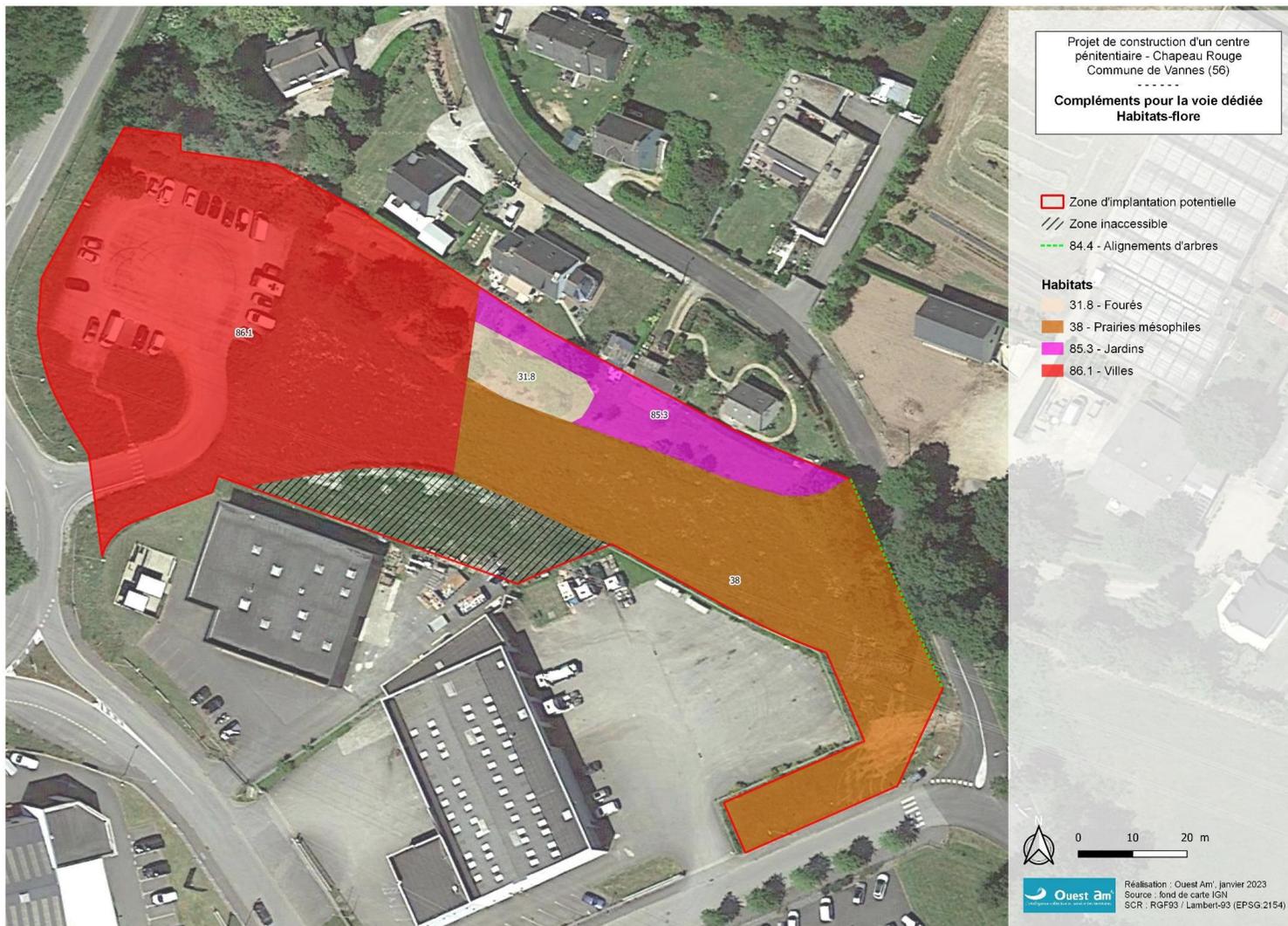
Projet de création d'une nouvelle voie

Le projet de nouvelle voie se situe au sein d'une cohérence écologique peu riche, au regard du SRCE Bretagne, et ne se situe pas au sein d'un corridor d'intérêt régional.

Plusieurs réservoirs de biodiversité se trouvent à une distance relativement éloignée du projet d'extension de route :

Le ruisseau du Liziec est identifié comme un cours d'eau selon la trame bleue régionale. Concernant ce cours d'eau, le PLU de Vannes identifie la trame verte au sud du site d'étude, au niveau des rives du ruisseau du Liziec.

Du point de vue de la trame verte et bleue, le projet d'étude ne présente pas de fortes contraintes. Notamment, car le projet de voie nouvelle est très proche d'une infrastructure bloquante (RN 166).

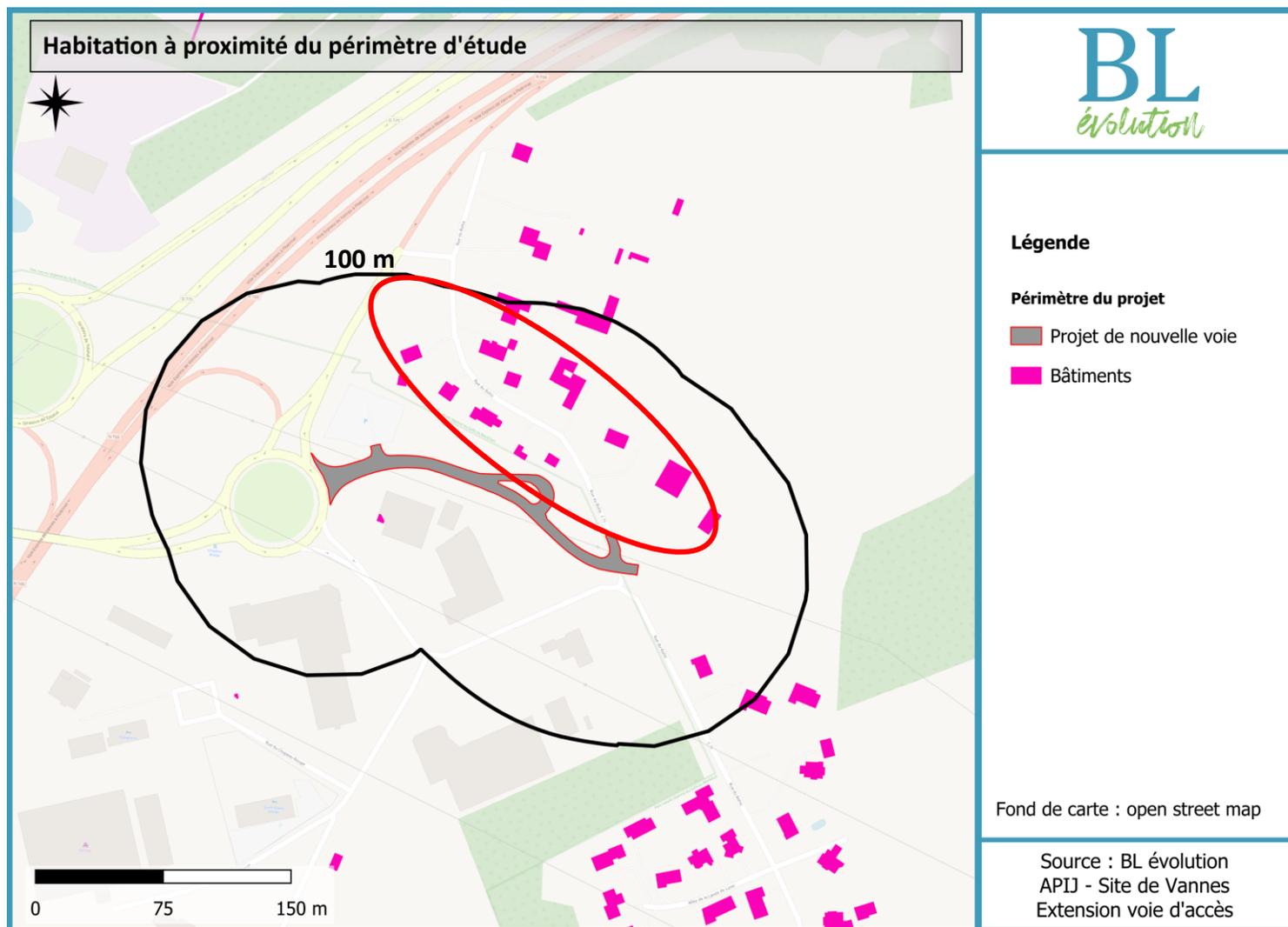


Carte des habitats :

La carte des habitats présente la spatialisation des éléments présents qui forme des espaces d'accueil plus ou moins intéressants pour la biodiversité :

- Zone de ville : espace très anthropisé peu favorable
- Jardins : espace intéressant pour l'avifaune
- Zone de fourrés : espèces ornementales et présence d'espèces envahissantes
- Prairie mésophile : habitat qui n'est pas d'intérêt communautaire
- Haies : présence d'un alignement d'arbres sur talus qui n'a pas de véritables fonctionnalités écologiques

Enjeux humains



La carte ci-contre présente les bâtiments potentiellement résidentiels à proximité du périmètre d'étude.

Les principaux enjeux pour les riverains se situent au nord du périmètre d'étude, avec des habitations situées dans un rayon de 100 mètres (environ 10 ménages vivent sur cette zone selon les données Filosofi* parmi l'ensemble des bâtiments identifiés par la BD Topo).

Un enjeu pour les habitants peut être présent, notamment au nord du projet de voie d'accès. Néanmoins, ces habitations se situent le long de la rue du Rohic qui est déjà éclairée.

Enjeu modéré

Etude des impacts

Modélisations prédictives

Simulation de l'éclairage du projet de voie d'accès

Principes :

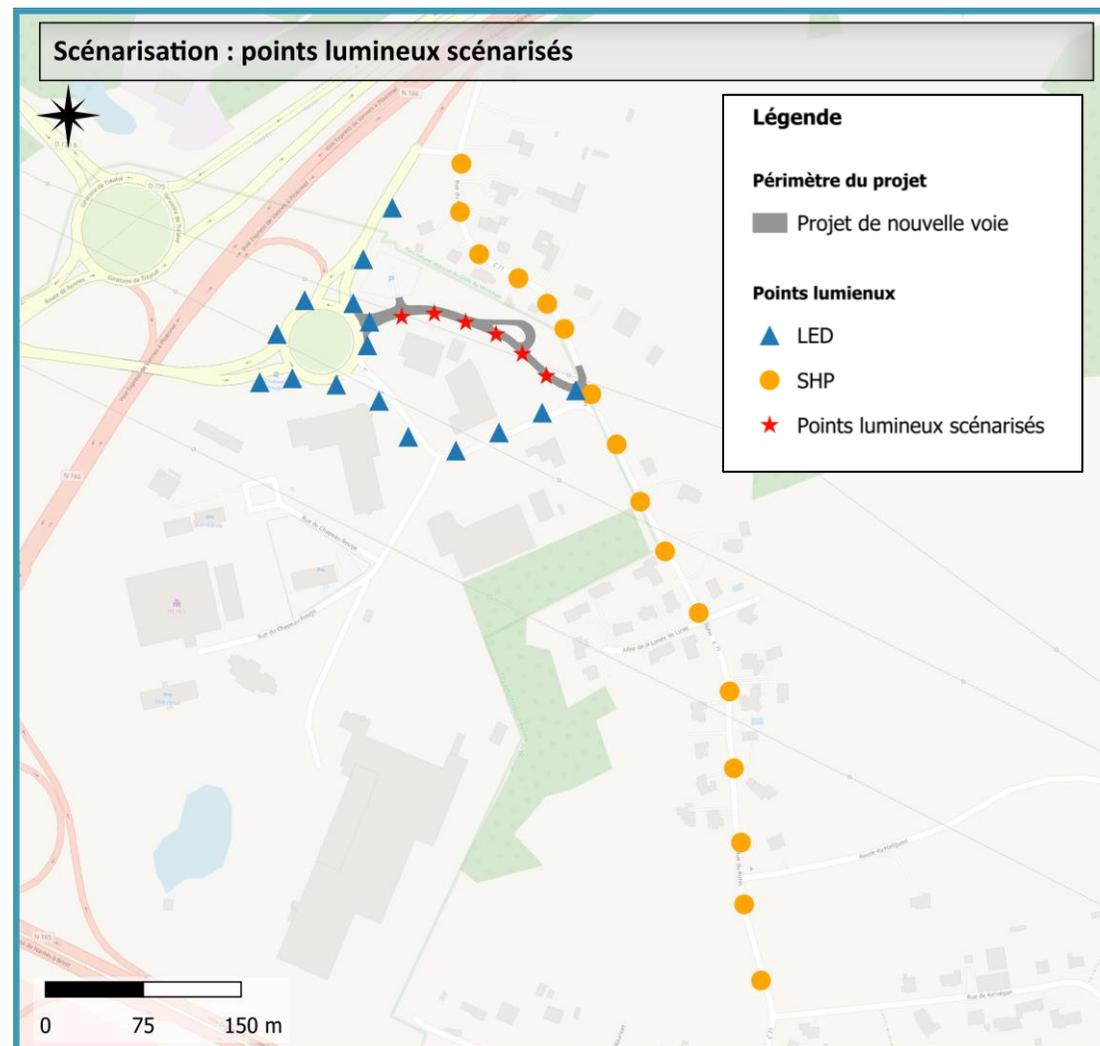
La scénarisation est basée sur le plan de la nouvelle voie d'accès transmis dans le cadre de l'étude d'impact de la pollution lumineuse. Ce travail doit permettre d'évaluer la production de lumière et de pollution lumineuse afin de pouvoir mettre en avant les potentiels impacts du projet sur l'environnement nocturne.

L'étude se déroule donc en deux temps :

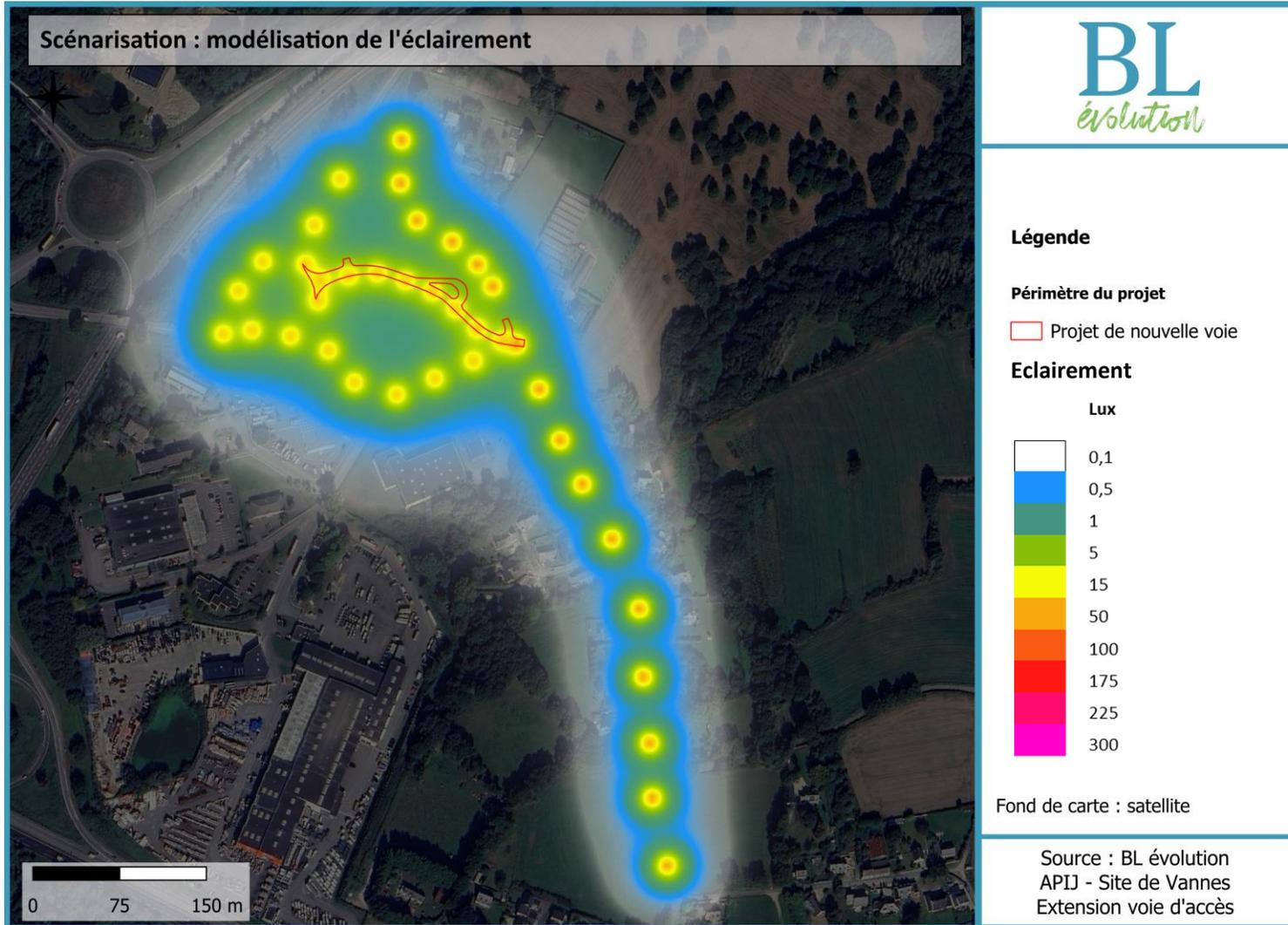
1. **Modélisation de l'éclairage** : afin d'analyser la pollution lumineuse directe, une simulation d'éclairage au sol selon les différents espaces est réalisée à partir des données connues à ce jour reportant les paramètres des éclairages proches.
2. **Modélisation de l'obscurité (en se basant sur l'étude initiale de la maison d'arrêt)** : cette simulation consiste à exploiter la simulation de l'éclairage et d'estimer les émissions de lumière qui vont altérer l'obscurité. Cela va dépendre des éclairages, de la diffusion du halo lumineux, mais aussi de la qualité de l'obscurité du ciel à l'état initial.

Il n'existe aujourd'hui aucun scénario d'éclairage pour cette nouvelle route et aucune exigence réglementaire. Ainsi, pour créer un scénario d'éclairage, l'ensemble des paramètres des éclairages de la rue du Rohic (éclairages plus récents que ceux de la rue du Chapeau Rouge) sont appliqués sur ce nouveau projet. Nous avons repris les paramètres suivants :

- Distance moyenne séparant les mâts ;
- La hauteur ;
- La puissance et la distance d'éclairage associée



Modélisation prédictive de l'éclairage

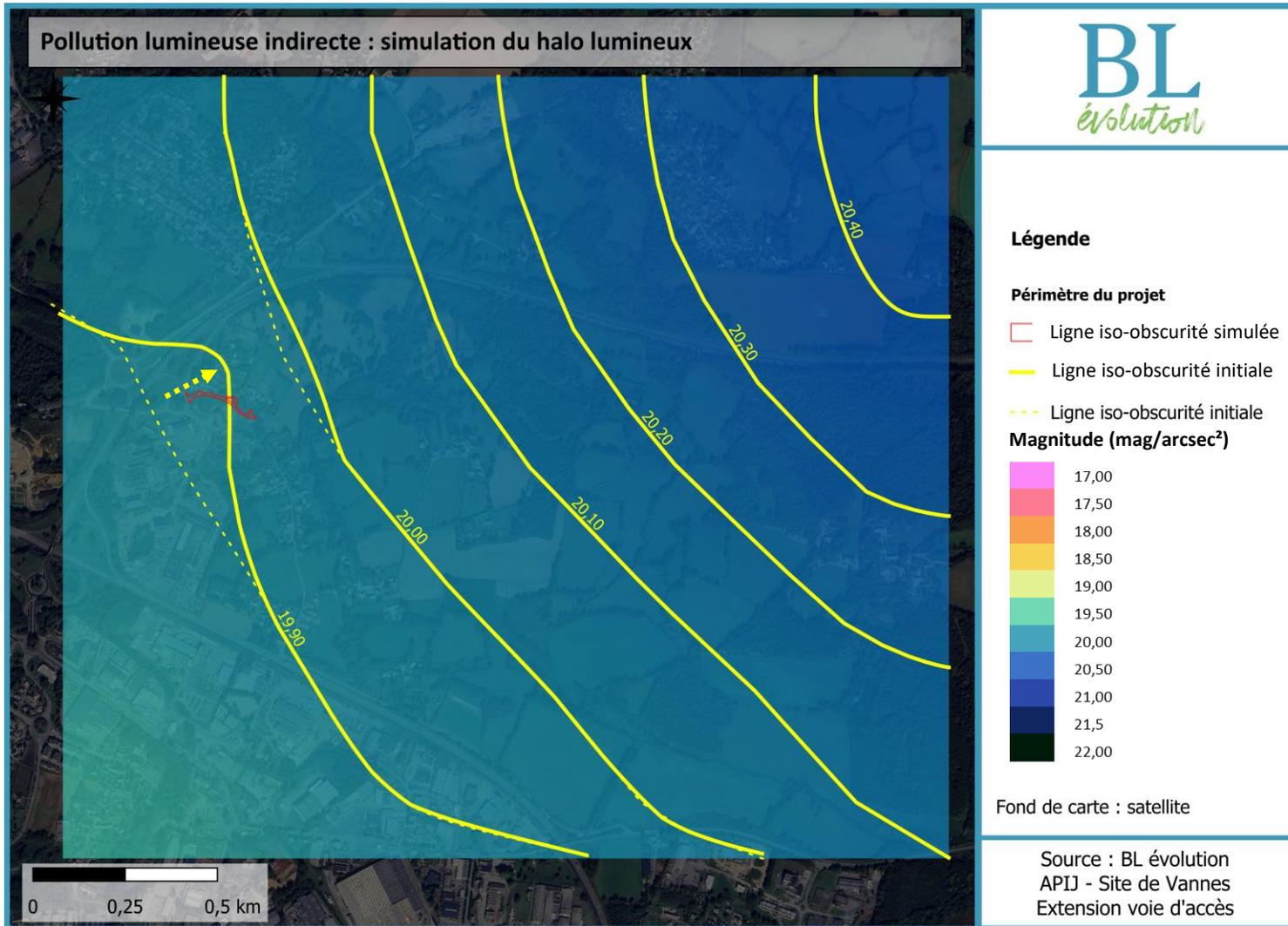


La simulation montre un éclairage particulièrement concentré au niveau du croisement entre les rues du Rohic, de Chapeau Rouge, du rond-point et de la nouvelle voie d'accès en projet.

Au-delà, la quantité de flux lumineux régresse en fonction de la distance des points lumineux imaginés.

La surface réceptrice d'un éclairage peut s'étendre jusqu'à 75 mètres au-delà des sources de lumière.

Modélisation prédictive du halo lumineux



Les résultats de la simulation du halo lumineux potentiel montrent une implication très relative dans la qualité de l'obscurité du ciel déjà altérée de la zone d'étude. En effet, la transformation des données d'éclairage en magnitude montre une influence faible au niveau du projet.

L'influence la plus importante est un léger décalage de la courbe iso-obscurité de 19,90 en direction du nord-est et influençant aussi légèrement la courbe 20,00 mag/arcsec².

L'altération de la qualité de l'obscurité du ciel reste relative par rapport à un état initial déjà dégradé.

Etude des impacts du projet

La partie étude d'impact doit permettre d'estimer les effets de la mise en lumière du futur projet sur la biodiversité et sur la santé et le bien-être des riverains et des personnes concernées.

Étude d'impact sur la biodiversité

L'étude d'impact est réalisée par taxons et sur les habitats de manière générale, présents sur le secteur d'étude et sur le périmètre du projet.

La question de la pollution lumineuse est un enjeu étudié qui reste relativement récent. Même si les effets de la lumière sont connus depuis longtemps, la réponse des espèces appartenant à un même taxon peut être différente selon les espèces. C'est le cas par exemple des chauves-souris, comme l'a démontré J. Pauwels, la majorité des espèces vont fuir la lumière, mais d'autres comme les Pipistrelles, peuvent au contraire profiter de l'éclairage pour s'en approcher et pour s'alimenter avec la forte présence d'insectes nocturnes qui sont eux piégés par les flux lumineux. L'estimation au stade d'intervention de l'étude reste donc globale.

La flore :

Les effets de la pollution lumineuse sont relativement peu renseignés. La bibliographie scientifique s'accorde cependant sur le fait que la mise en lumière directe implique une perturbation du cycle de vie des plantes (germination, croissance, floraison...). L'activité peut aussi être déséquilibrée par la prolongation de l'activité photosynthétique par la lumière artificielle au-delà des heures du soleil.

La pollution lumineuse a aussi un effet indirect sur la flore en perturbant la pollinisation (pollinisateurs nocturnes mais aussi diurnes.).

Enjeux à l'état initial :

La flore représente un enjeu faible, avec essentiellement des espèces communes présentes.

Impacts du projet après simulations

Les principaux impacts s'orienteraient sur la pollution lumineuse directe. Les arbres présents représentent peu d'enjeux sur leur métabolisme et sont peu favorables à l'accueil d'espèces.

■ Impacts peu significatifs.

Les invertébrés :

La pollution lumineuse a un impact extrêmement fort sur les invertébrés, et notamment les espèces volantes. Ce sont notamment les lumières émettant dans des gammes d'ultra-violet et de courtes longueurs d'onde (bleu) qui ont le plus d'impacts sur les insectes. La réaction principale est une phototaxie positive marquée, c'est-à-dire que les espèces sont fortement attirées par la lumière. De plus, les insectes nocturnes représentent un maillon très important de la chaîne alimentaire d'un écosystème, ce qui implique de nombreux enjeux en cascades pour toutes les espèces.

La pollution lumineuse a pour effet :

- Désorientation et fatigue :
 - Les invertébrés nocturnes sont directement attirés par les flux lumineux (réflexe de phototactisme).
- Pièges et mortalités :
 - L'attraction réflexe vers la lumière piège les espèces sous les flux lumineux. Les espèces se retrouvent piégées dans les vasques des lampadaires augmentant la mortalité directe.

- Barrières écologiques :
 - Une rue éclairée devient une barrière infranchissable.
- Surmortalité par prédation :
 - L'attraction et le piégeage des insectes sous les flux lumineux entraînent une modification des liens proies/prédateurs et une surmortalité des insectes (chauve-souris, araignées...).
- Succès reproducteurs :
 - Influence des succès reproducteurs des invertébrés en présence de flux directs.

Enjeux à l'état initial :

La diversité des espèces présentes est relativement faible, à cause de l'absence de véritables milieux. Ainsi, l'enjeu retenu est faible.

Impacts du projet après simulations

Les impacts du projet s'orientent sur les questions de pollution lumineuse directe. Les flux lumineux pourront avoir un pouvoir d'attraction important, provoquant un éblouissement et déclenchant les réflexes de phototactismes positifs des potentielles espèces.

Les zones éclairées pourront devenir un piège, impliquant une surmortalité directe sur les ampoules et indirecte, par un déséquilibre de la prédation.

Il s'agit d'un enjeu important et qui reste difficile d'éviter ou de réduire.

Impacts :

- **Surmortalité : attraction des insectes et modification des rapports proies/prédateurs.**
- **Barrière écologique : difficulté de franchissement des zones éclairées.**

Les amphibiens

La pollution lumineuse affecte sensiblement les amphibiens, notamment dans leurs activités crépusculaires.

Enjeux à l'état initial

La zone n'est pas propice aux amphibiens.

Impacts du projet après simulations

Les enjeux s'orientent sur les impacts de la pollution lumineuse directe, mais l'absence d'espèces et de milieux favorables

- **Un impact très faible.**

Reptiles

Les effets de la pollution lumineuse sur les reptiles restent peu renseignés. On notera que certaines espèces nocturnes peuvent profiter de l'éclairage pour chasser les espèces qui sont attirées (piégées) sous les lampadaires. Ce qui peut entraîner une perturbation globale des chaînes trophiques, induisant une prolifération des prédateurs et une baisse du nombre des proies.

Enjeux à l'état initial

Aucune espèce rencontrée et site sans potentialité pour ce groupe

Impacts du projet après simulations

- Impact non-caractérisable.

Avifaune

Les oiseaux sont ceux qui font l'objet du plus grand nombre d'études sur le sujet des impacts de la pollution lumineuse. Les oiseaux sont particulièrement sensibles aux effets de la pollution lumineuse lors de la reproduction et de la migration :

- En période de nidification, les oiseaux et les juvéniles peuvent être attirés par les sources lumineuses. Désorientation et impossibilité de rejoindre les nids :
 - Nidification forcée loin des espaces éclairés par des flux directs.
- **Déplacements migratoires** : une part importante des migrations se fait de nuit, les oiseaux se repèrent grâce à la lumière des étoiles et de la lune. La présence de halos lumineux implique une désorientation, surconsommation d'énergie vitale et perte de temps sur les périodes de migration :

- Forte mortalité, fatigue, baisse de la reproduction.

Les oiseaux nocturnes, notamment les rapaces, sont particulièrement sensibles à la lumière et vont fuir les zones les plus éclairées. Tous les oiseaux diurnes sont touchés par la pollution lumineuse, notamment par le fait que leur période de repos est réduite (entraînant fatigue, stress et dérèglement de leur horloge biologique).

Enjeux à l'état initial

- Dix espèces rencontrées, dont la majorité sont affiliées à des milieux urbains.
- Deux espèces patrimoniales
- Potentialité d'accueil faible, mais présence d'habitats favorables, ponctuels (haies, jardins)
 - Enjeu modéré à fort au niveau des jardins arborés

Impacts du projet après simulations

Ici, les enjeux s'orientent sur la pollution lumineuse directe et indirecte.

Pollution lumineuse directe : la nidification pourra être impactée, avec une réponse d'un déplacement des nids qui peuvent potentiellement être directement éclairés.

Pollution lumineuse indirecte : la modification qui est attendue sur la qualité du ciel nocturne reste relative par rapport à l'état initial et au halo lumineux de la ville de Vannes.

▪ Impacts :

- **Niches** : recul des zones de nichage des oiseaux diurnes.
- **Barrière écologique** : migration difficile/rallongée/retardée.

Mammifères (hors chiroptères)

Beaucoup d'espèces de mammifères terrestres manifestent une répulsion vis-à-vis de la lumière (phototactisme positif), les espaces éclairés par des flux directs et en cas de sur-illumination (halos lumineux), les mammifères ont tendance à fuir et se réfugier dans des espaces obscurs de plus en plus restreints et de plus en plus rares.

Enjeux à l'état initial

- Aucune espèce observée et une potentialité d'accueil très faible composée de nombreux obstacles

Impacts du projet après simulations

Ce sont les éclairages directs qui pourraient être plus impactants pour ces mammifères. Mais les enjeux restent modérés.

Dans un contexte où les réponses de la biodiversité sont modérées et vont fuir la lumière, et que les espaces sont peu favorables, l'impact du projet reste limité.

■ Impacts :

- Fuite des espèces

Chiroptères

Concernant les chiroptères (chauves-souris), celles-ci sont particulièrement affectées par la pollution lumineuse. Ce sont principalement des espèces à phototaxie négative (fuite de la lumière) et sont particulièrement sensibles aux flux directs ainsi qu'au halo lumineux.

On considère que le halo lumineux doit être supérieur à 21 mag/arcsec² (donc une obscurité relativement importante) pour que les individus s'épanouissent dans les meilleures conditions. Dans le cas de la zone d'étude, la radiance se situe autour de 20 mag/arcsec² à l'état initial et 19,9 mag/arcsec² à l'état projeté.

On notera que certaines espèces, comme la pipistrelle, sont beaucoup plus adaptées à la lumière et semblent au contraire profiter des flux lumineux pour se nourrir.

La pollution lumineuse a pour effet :

- Effets directs sur les colonies de reproduction, gîtes d'hibernation et les reposoirs :
 - Potentielle destruction de colonies et modification de la physionomie des juvéniles (plus petits lorsqu'ils occupent des bâtiments éclairés et retard de croissance).
- Effet de barrière :
 - Fragmentation des paysages nocturnes.
- Effet sur la prédation :
 - Interférence sur la distribution des proies et sur les compétitions inter-, intra- spécifique. Notamment, la pipistrelle est connue pour s'être adaptée à l'éclairage et, au contraire, les grands rhinolophes ne chassent que dans l'obscurité totale (espaces qui deviennent de plus en plus rares).

Enjeux à l'état initial

- Cinq espèces inventoriées, dont toutes sont protégées, mais pas de patrimoniale. La présence de pipistrelles est largement dominante

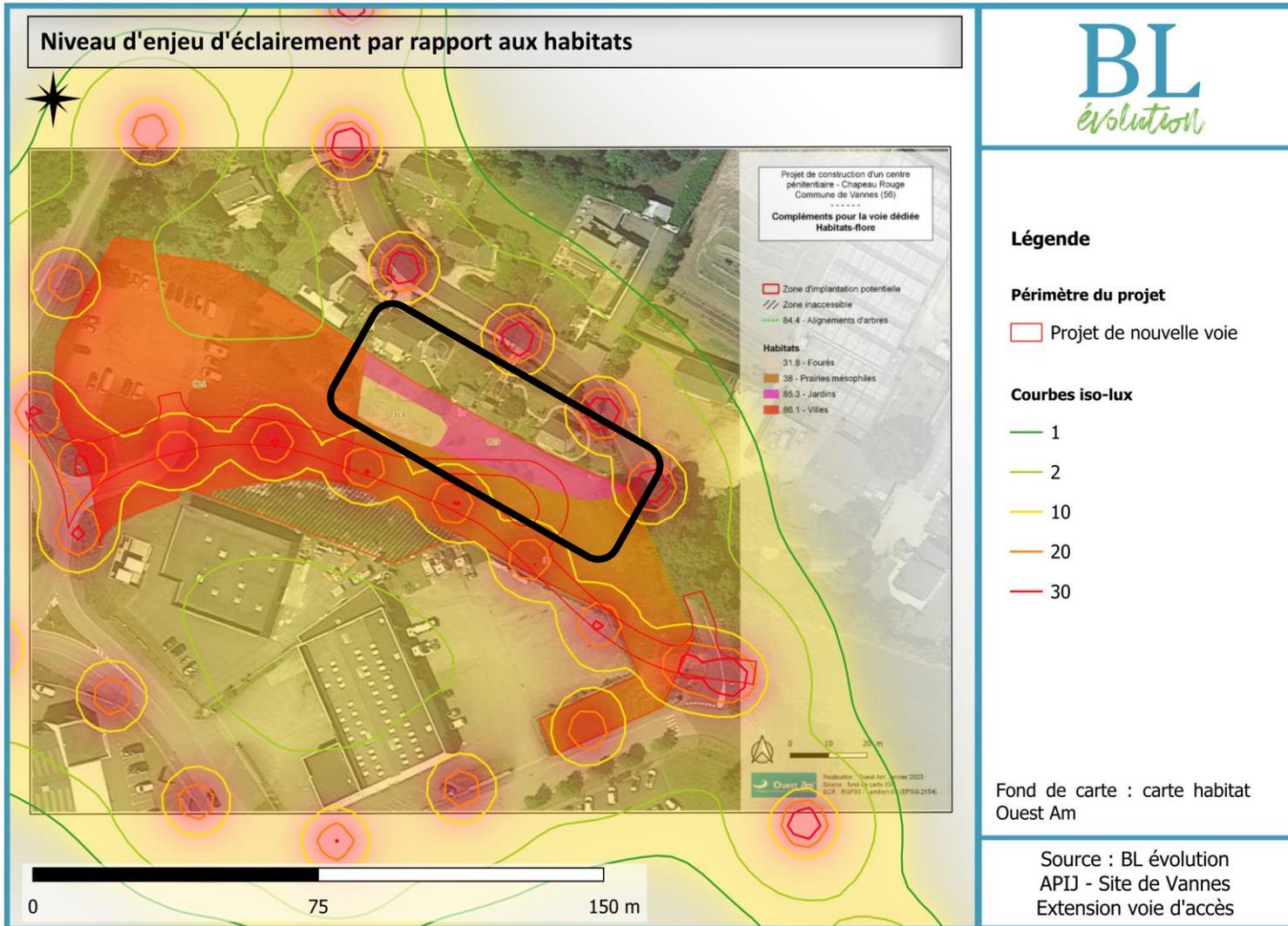
Impacts du projet après simulations

Une nouvelle fois, la pollution lumineuse directe semble être la principale source d'impact. La mise en lumière du projet va avoir plusieurs effets négatifs, avec la fuite des espèces les plus sensibles. Les espèces les moins sensibles peuvent potentiellement être présentes, et cela impliquera un possible déséquilibre de la relation proie/prédateur en lien avec les insectes sur ces espaces.

Impacts :

- **Barrière écologique : limitation de la migration et obligation de détourner le projet.**
- **Fuite des espèces lucifuges.**
- **Déséquilibre du lien proie/prédateur avec les insectes.**

Enjeux sur les fonctions écologiques



Autres enjeux en lien avec le fonctionnement écologique

Les habitats naturels

Les habitats naturels restent peu propices au développement de la biodiversité, limitant ainsi la notion d'écosystème fonctionnel. On notera tout de même la zone de Jardin, mentionné par Ouest Am comme favorable aux oiseaux présents.

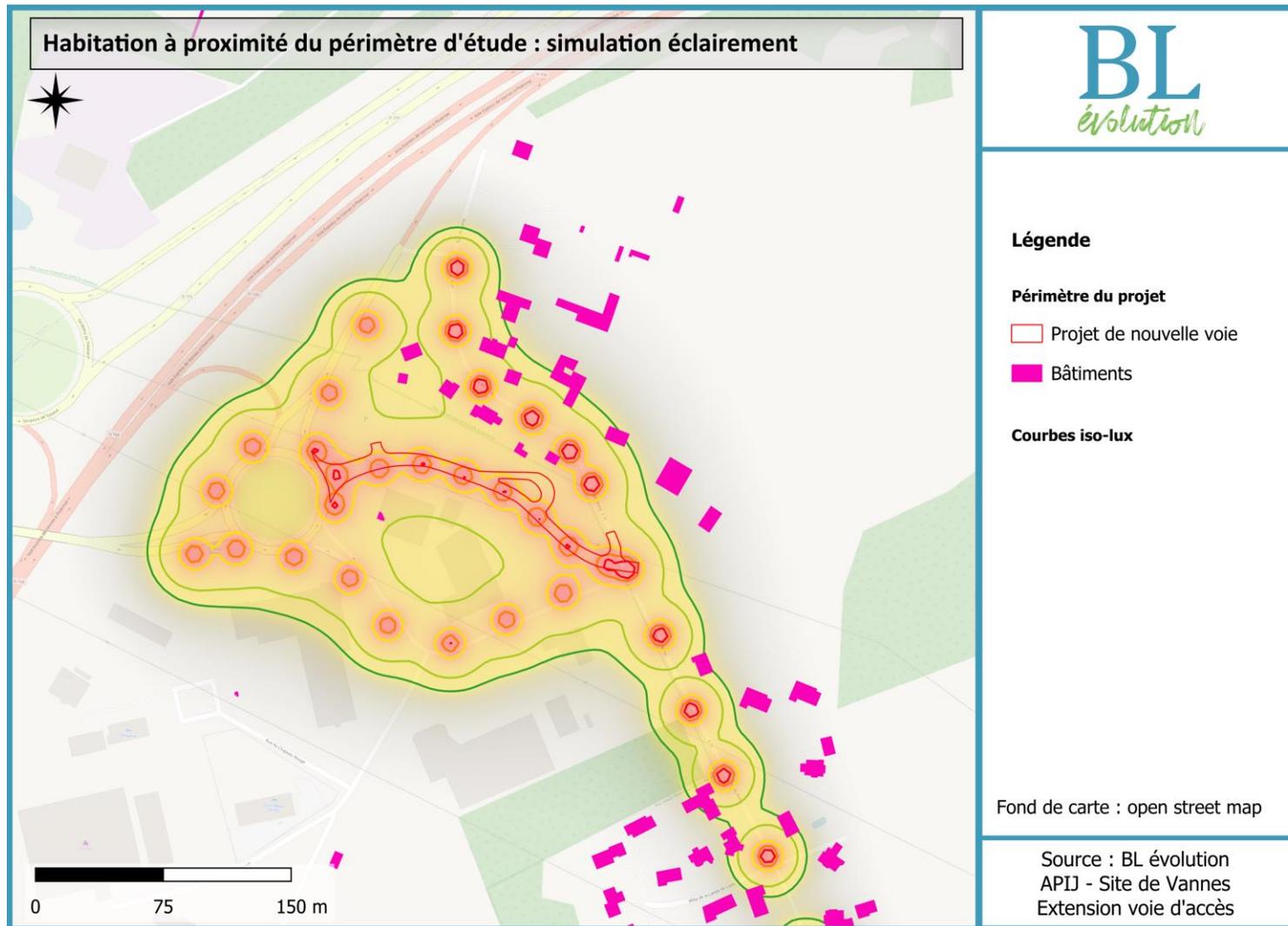
Cette zone est la plus sensible pour le projet et pourra recevoir entre 2 et 10 lux. En lien avec les éclairages déjà présents.

Les enjeux se concentrent ainsi sur cette zone.

La trame noire

En matière de trame noire, le projet se situe à proximité de grands obstacles aux déplacements, notamment la N166. S'ajoute à cela l'absence d'éléments favorables à une échelle régionale (SRCE), communale (PLU) et locale (étude Ouest Am). Les impacts seront particulièrement faibles.

 Zone sensible



Concernant le volet humain, la pollution lumineuse est la source d'un impact certain sur la santé. De nombreuses études montrent une perturbation de l'horloge biologique qui altère notamment la régulation hormonale. La production de la mélatonine (hormone du sommeil) est perturbée en présence de lumière directe. Plusieurs pistes scientifiques mettent en avant d'autres facteurs liés à ces perturbations hormonales qui peuvent jouer un rôle sur la santé et le bien-être, comme des liens avec le stress et l'anxiété, l'obésité voire le cancer.

L'état initial avait permis de mettre en avant que des habitations sont présentes dans un rayon de 100 mètres du périmètre du projet.

L'éclaircissement de la nouvelle voie d'accès ajoutera de la lumière en direction des maisons. Ces maisons sont déjà touchées par la pollution lumineuse directe des éclairages existants sur la rue du Rohic.

L'impact est modéré avec un potentiel éclaircissement des façades sud.

Hiérarchisation des enjeux

La notion d'impact en pollution lumineuse s'enrichit rapidement, avec les nombreuses recherches scientifiques, avancées et découvertes qui progressent sur le sujet, disposant aujourd'hui d'un corpus scientifique solide. De nombreux impacts sont caractérisés par des notions nouvelles établies par une veille scientifique importante.

Cependant, certains impacts peuvent encore être méconnus et/ou manquer de solidité. Dans ce cas, ils ne seront pas cités dans l'étude d'impact (exemple des impacts sur les reptiles).

Pour la pollution lumineuse, la notion d'étude d'impact reprend les grands traits d'une étude d'impact écologique. Cependant, certaines doctrines de ces études ne sont pas (ou difficilement) applicables à la pollution lumineuse. Il est nécessaire de bien comprendre que :

- La physique de la lumière et sa propagation induit un impact du projet diffus.
- Actuellement, les études et recherches scientifiques montrent que l'impact de la lumière est très important pour les écosystèmes. Cependant, il peut se combiner à d'autres facteurs notamment le bruit (pollution sonore). Dans ce sens, les impacts sont à prendre avec une notion de forte potentialité, mais d'autres facteurs peuvent jouer un rôle majeur.
- La notion d'impacts résiduels est difficile à caractériser dans le sens où une seule source peut avoir des impacts, mais ils seront très faibles. La notion d'impacts résiduels est donc à prendre avec un certain recul, car l'impact net nul ou positif n'est pas atteignable.

- La notion de compensation n'est pas applicable aujourd'hui à la pollution lumineuse, car non-cohérente avec les milieux (il faudrait éteindre des zones naturelles similaires qui ne sont techniquement pas éclairées, sinon elles ne disposent pas d'un environnement nocturne similaire). Toutefois, les compensations environnementales définies par l'étude d'impact écologique doivent intégrer la notion de pollution lumineuse. Si une zone de compensation est établie pour ce projet, celle-ci doit disposer d'une ambiance lumineuse au minimum similaire.

L'étude d'impact de la pollution lumineuse est établie selon l'échelle de niveaux d'impacts suivante :

Positif	Nul	Faible	Modéré	Fort	Très fort
Impact qui aura un effet positif pour l'environnement nocturne	Non concerné	L'impact aura des effets mais ne mettront pas en danger les populations (Potentiel)	L'impact aura des effets avérés mineurs sur les populations (Pas d'irréversibilité pour les écosystèmes)	Le projet aura un effet avéré majeur sur les populations et pourra mettre en danger les plus vulnérables (disparitions probables d'espèces en danger)	Le projet aura un effet dangereux et irréversible sur l'ensemble de la population sur le projet

Analyse des impacts

Taxons	Niveau d'enjeu retenu	Caractérisation des enjeux
Habitats	Modéré sur la zone des jardins	<ul style="list-style-type: none"> Présence d'éclairage sur les zones de jardins limitant les fonctionnalités d'accueil des habitats
Flore	Faible	<ul style="list-style-type: none"> Possible perturbation des cycles de floraisons, mais des arbres avec peu d'intérêts
Amphibiens	Nul	<ul style="list-style-type: none"> Non-concernés
Reptiles	Nul	<ul style="list-style-type: none"> Non-concernés
Mammifère (hors chauve-souris)	Faible	<ul style="list-style-type: none"> Fuite des espèces
Chiroptères	Modéré	<ul style="list-style-type: none"> Barrière écologique : limitation de la migration et obligation de détourner le projet. Fuite des espèces lucifuges. Déséquilibre du lien proie/prédateur avec les insectes.
Oiseaux	Modéré	<ul style="list-style-type: none"> Niches : recul des zones de nichage des oiseaux diurnes. Barrière écologique : migration difficile/rallongée/retardée
Insectes	Faible	<ul style="list-style-type: none"> Surmortalité : Attraction des insectes et modification des rapport proies/prédateurs. Barrière écologique : difficulté de franchissement des zones éclairées.
Zones humides	Nul	<ul style="list-style-type: none"> Non-concernés
Trame noire	Nul	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'éléments favorables
Riverains	Modéré	<ul style="list-style-type: none"> Eclairage des façades sud

Les mesures correctrices

Limiter et réduire l'impact

Objectifs	Options pour éviter	Option pour réduire
Contrôler les flux lumineux pour limiter leur diffusion dans l'environnement proche	<ul style="list-style-type: none">• Installer des systèmes de maîtrise des flux (type LED) qui n'éclaire que la zone nécessaire• Ne pas éclairer en direction des zones hors de la voie d'accès	<ul style="list-style-type: none">• Installer des mâts d'éclairage d'hauteur modérée (5 mètres)
Travailler sur les matériels installés pour limiter les impacts	<ul style="list-style-type: none">• Installer des flux avec des couleurs chaudes (température de couleur 2200K max)• Utiliser des verres de protection garantissant leur étanchéité (Indice de protection >65)	<ul style="list-style-type: none">• Limiter les puissances des points lumineux• Utiliser des modulateurs d'intensité au cours de la nuit
Limiter la production du halo lumineux	<ul style="list-style-type: none">• Ne pas éclairer en direction du ciel	<ul style="list-style-type: none">• Limité le nombre d'éclairage au strict minimum avec une densité de lumen par surface basse(DSFLI)
Protéger les populations	<ul style="list-style-type: none">• Couper les flux lumineux qui pourraient atteindre les habitations (haies protectrices, plantation d'arbres)	<ul style="list-style-type: none">• Sensibiliser les habitants (enjeu de la pollution lumineuse, installer des volets dans les chambres à coucher, etc.)
Limiter les impacts généraux	<ul style="list-style-type: none">• Eteindre les lumières à 23h (identique à la rue du Rohic)	