



Étude d'impact pollution lumineuse

Tremblay-en-France : implantation d'un
établissement pénitentiaire

Table des matières

I. Contexte	7
I.1. Contexte de l'étude.....	7
I.2. La pollution lumineuse.....	9
a. Définition de la pollution lumineuse.....	9
b. La production de pollution lumineuse.....	9
c. Les impacts de la pollution lumineuse.....	10
I.3. Les causes de la production de nuisances lumineuses.....	11
a. La concentration des points lumineux.....	11
b. Les types d'ampoules.....	11
c. Direction des flux.....	12
II. Méthodologie	13
II.1. Campagne de collecte de données.....	13
II.2. État initial.....	14
II.3. Modélisation prédictive.....	15
II.4. Étude d'impact.....	15
II.5. Préconisations et recommandations.....	16
III. L'état initial de l'environnement nocturne	17
III.1. Description du périmètre d'étude.....	17
III.2. Résultat de la campagne de mesure.....	18
a. La localisation des éclairages, mesures de flux et descriptions des lampadaires :.....	19
b. Mesure d'obscurité.....	21
III.3. Modélisation de l'éclairage.....	22
III.4. Modélisation de l'obscurité sur site.....	24
III.5. Définition des enjeux.....	26
a. Les enjeux écologiques.....	27
b. Enjeux humains.....	28
IV. Modélisation prédictive	29
IV.1. Méthode.....	29
a. L'étendue du projet et ses différentes structures.....	29
b. Les éclairages envisagés.....	30
IV.2. Résultats.....	33
IV.3. Les enjeux.....	34

V. Étude d'impacts	35
V.1. Les impacts attendus sur la biodiversité.....	35
a. Étude d'impacts sur les espèces.....	35
b. Étude d'impact sur les cohérences écologiques	40
c. Synthèse des incidences notables du projet	43
V.2. Les impacts sur l'humain	44
d. Habitations et riverains	44
e. Personnel et détenus	44
V.3. Hiérarchisation des impacts du projet et mesures correctrices.....	45
a. Notion d'impacts en pollution lumineuse.....	45
b. Synthèse des impact du projet.....	46
c. Les mesures correctrices	47
VI. Préconisations et recommandations d'éclairage	50
a. Maîtriser les flux.....	50
b. Gérer les périodes nocturnes	52
c. Adapter l'intensité aux véritables besoins	52
d. Choisir les ampoules.....	54
e. Autres paramètres techniques d'éclairage	56
VI.1. Synthèse des préconisations et recommandations.....	56
VII. Conclusion	58
VIII. Bibliographie	59

Tables des figures

Figure 1 : maquette du futur projet	7
Figure 2 périmètres étudiés	8
Figure 3 ULOR/DLOR	12
Figure 4 : plan du projet	17
Figure 5 : description du périmètre retenu.....	18
Figure 6 carte des éclairages	20
Figure 7 : mesures SQM	21
Figure 8 : éclairage au sol	23
Figure 9 : halo lumineux d'Île-de-France	24
Figure 10 : carte du halo lumineux.....	25
Figure 11 : halo lumineux sur le périmètre du projet	26
Figure 12 : photographie ver luisant	27
Figure 13 : avenue Vauban	28
Figure 14 : futur projet	29
Figure 15 : exigences réglementaires du projet.....	31
Figure 16 : éclairage théorique du projet.....	32
Figure 17 : halo lumineux du futur projet sur le périmètre d'étude.....	33
Figure 18 : halo lumineux sur le périmètre du projet	34
Figure 19 : Trame verte et bleue	41
Figure 20 : localisation des premières habitations.....	44
Figure 21 : maîtrise des flux	51
Figure 22 : orientation des flux	52
Figure 23 : Détecteur de présence dans l'éclairage public	52
Figure 24 : baisse d'intensité au cours de la nuit	53
Figure 25 : Les spectres des ampoules sur le marché de l'éclairage public	54

Table des tableurs

Tableau 1 : types de lampadaire	19
Tableau 2 : inventaire avifaune	36
Tableau 3 : espèces représentative de la sous-trame herbacée.....	42
Tableau 4 : échelle d'impacts	46
Tableau 5 : synthèse des impacts écologiques.....	46
Tableau 6 : synthèse des impacts humains	47
Tableau 7 : mesures correctrices	48
Tableau 8 : maîtriser les flux	51
Tableau 9 : enjeux biodiversité et couleur des flux.....	55
Tableau 10 : les ampoules à installer sur le projet.....	55

I. Contexte

Le projet étudié se situe sur la commune de Tremblay-en-France, dans le département de la Seine-Saint-Denis, en région Île-de-France.

I.1. Contexte de l'étude

Cette étude d'impact de la pollution lumineuse s'insère dans le cadre de l'étude de faisabilité commandée par l'APIJ (Agence Publique pour l'Immobilier de la Justice) pour la construction d'un nouvel établissement judiciaire sur la commune de Tremblay-en-France, dans la continuité de la maison d'arrêt de Villepinte actuellement sur site.

B&L évolution a été sollicité pour l'étude de la construction de ce projet et de ses possibles influences sur l'environnement nocturne par la production de pollution lumineuse. Cette étude se justifie par le fait que l'éclairage est une obligation réglementaire au sein des établissements pénitentiaires et par conséquent producteurs de pollution lumineuse.

Les objectifs de l'intervention sont :

- La réalisation d'une étude de l'état initial environnement nocturne du site accueillant le futur projet et la définition des enjeux écologiques et humains
- La visualisation de l'état de l'environnement nocturne avec l'implantation du projet par une modélisation prédictive
- L'étude de l'impact sur la biodiversité locale, les habitants et le personnel occupant les lieux
- La proposition de de préconisations et recommandations techniques pour limiter et éviter l'impact lorsque que c'est possible

La présente mission a débuté le 02 juillet 2019 par une campagne de mesure nocturne de la pollution lumineuse directement sur site.

Maquette du projet :



Figure 1 : maquette du futur projet

À partir de la maquette du futur projet et de la configuration du territoire, deux périmètres d'étude de la pollution lumineuse ont été défini :

- Le périmètre du projet
- Un périmètre d'étude étendu

Périmètres étudiés :



Figure 2 périmètres étudiés

Le futur projet se situe au sein d'un champ de blé, au nord de la Francilienne A104, à l'est de l'avenue Vauban.

Le périmètre étendu a été choisi pour pouvoir prendre en compte les habitations à l'ouest de l'avenue Vauban, de l'urbanisation de la ville de Tremblay-en-France au nord et la zone d'activité au sud du périmètre.

1.2. La pollution lumineuse

a. Définition de la pollution lumineuse

La pollution lumineuse est un phénomène anthropique induit par une mise en lumière via un éclairage artificiel durant la période nocturne.

« L'introduction d'un agent chimique, physique ou biologique au sein d'un milieu à l'origine de dégradations est défini comme une pollution ». À ce titre, la pollution lumineuse désigne toute forme de présence lumineuse, durant la nuit, à l'origine d'impacts, de nuisances ou de gênes pour l'Homme et/ou l'environnement.

Le rythme nyctéméral, ou alternance jour/nuit, correspond à un cycle biologique de 24h auquel toute forme de vie est adaptée. Ce rythme se rapporte à plusieurs phases induites par la luminosité et la température, mais aussi l'humidité et d'autres paramètres climatiques journaliers. La période nocturne se découpe en plusieurs séquences :

- Le crépuscule : débutant à partir du coucher du soleil, le crépuscule se caractérise par une luminosité et des températures en baisse et une humidité qui s'élève
- La nuit : suivant le crépuscule, elle se caractérise par une absence totale de lumière directe du soleil (excepté la lumière de la lune et des étoiles), la température chute et l'humidité s'élève. Il existe plusieurs sous-séquences qui accompagnent les rythmes de vie (exemple : le pic d'activité des insectes nocturnes se situe plutôt en début de nuit, alors que les mammifères (grand gibier) connaissent un pic d'activité plutôt en seconde partie (alors qu'il n'y a pas de distinction connue pour la migration nocturne de l'avifaune concernée)
- L'aube : dernière séquence de la période nocturne, l'aube débute avec les premières lueurs du soleil jusqu'au lever, elle se caractérise par la température moyenne la plus basse de la journée et l'humidité la plus élevée.

Chaque phase du rythme nyctéméral est primordiale pour la biodiversité ainsi que pour l'être humain. L'introduction de lumière artificielle dans un environnement induit une modification de la luminosité et peut nuire à l'ensemble des séquences de la nuit.

b. La production de pollution lumineuse

Le développement de la pollution lumineuse est causé par la présence de plus en plus forte d'éclairage sur le territoire. En France, le nombre de lampadaires lié uniquement à l'éclairage public à presque doublé en 20 ans, donnant des espaces obscurs toujours plus restreints.

La pollution lumineuse est produite de deux manières :

- L'introduction d'un flux lumineux direct ou par réverbération dans l'environnement proche ou en direction de l'atmosphère.
- La création d'une ambiance lumineuse généralisée dans un espace. Ce phénomène engendre la production de halos lumineux pouvant avoir une influence de pollution lumineuse sur plusieurs kilomètres (jusqu'à 30 kilomètres d'une urbanisation très dense).

La pollution lumineuse est favorisée par une mauvaise maîtrise des éclairages, l'utilisation de caractéristiques techniques néfastes des éclairages et une mauvaise utilisation. Pour limiter la pollution

lumineuse il est nécessaire d'utiliser des éclairages adaptés aux contextes environnementaux locaux, qui répondent aux besoins et qui fassent l'objet d'une réflexion sur l'ensemble des impacts.

c. Les impacts de la pollution lumineuse

On peut distinguer 4 types d'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, en présence de lumière, sont attirées par la source lumineuse, se trouvant désorientés et/ou piégés au sein des flux lumineux. C'est le cas des insectes nocturnes notamment, mais aussi des oiseaux migrateurs ou encore des tortues marines.
- **Phototaxie négative** : l'espèce va être répulsée ou gênée par la lumière. Dans un souci de camouflage et pour éviter d'être vu par leur 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 leur 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** : étant donné les réponses différentes des espèces, la pollution lumineuse devient une barrière écologique qui entrave la cohérence des écosystèmes. Au même titre qu'une infrastructure, la faune n'est plus en capacité de traverser une rangée continue de lampadaire.

La pollution lumineuse impact 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, est indispensable 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 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 induit un gaspillage énergétique et d'émission de CO2 (le parc d'éclairage public représente 5,6 TWh soit plus de 500 KteqCO2 en France)

1.3. Les causes de la production de nuisances lumineuses

À partir du moment où il y a production de lumière artificielle, il y a pollution lumineuse, et donc de nombreux impacts non négligeables sur l'équilibre des écosystèmes. Lorsqu'il y a présence de nombreux points lumineux concentrés et émettant un flux général en direction de l'atmosphère, on parle alors de halo lumineux, qui représente une ambiance lumineuse générale dans une unité urbaine résultant de la pollution lumineuse (plus le halo est important plus il y a de pollution lumineuse dans une ville).

Mais certaines sources vont avoir un pouvoir impactant bien plus important que d'autres. La puissance d'éclairage joue un rôle prépondérant conditionnant l'ensemble de ces facteurs de production de pollution lumineuse. Les facteurs de production de pollution lumineuse :

a. La concentration des points lumineux

Plus les points lumineux sont concentrés plus il y a un risque d'alimenter le halo lumineux. Même si les flux sont maîtrisés et n'éclairent qu'en direction du sol, la réverbération et l'ambiance générale est une source de renforcement de pollution lumineuse. Un phénomène auquel s'ajoute la puissance des flux lumineux qui, s'ils sont intenses, vont augmenter la part de réverbération accentuant les enjeux.

b. Les types d'ampoules

L'impact lié au type d'ampoule dépend fortement de la couleur émise par ces sources. Les couleurs des flux sont le résultat des longueurs d'ondes émises par une source et dépendent donc du spectre lumineux rattaché à l'ampoule. Les spectres lumineux les moins impactants sont ceux qui émettent dans une gamme concentrée (c'est-à-dire une couleur).

Les lumières blanches ont un spectre lumineux très large, elles émettent dans toutes les longueurs d'onde. Les lumières blanches intenses émettent en sus dans le bleu et l'UV. Ce sont les couleurs les plus attirantes pour les espèces à phototaxie positive. Ces lumières possèdent aussi un pouvoir de diffusion dans l'atmosphère beaucoup plus important que les lumières orange et sont donc visibles de plus loin.

Pour réduire la pollution lumineuse il est donc important d'éviter ces lumières « bleues ».

- Les ampoules à sodium basse pression (SBP) possèdent le spectre lumineux le plus concentré, elles émettent dans le jaune. Les hautes pressions (SHP) sont un peu moins performantes (gamme plus large) mais restent peu impactantes ;

- Les ampoules fluo-compactes, dites aussi « lampes basse consommation », émettent dans le blanc mais leur spectre lumineux est restreint (limité dans le bleu), d'où un impact moyen ;
- Les ampoules à vapeur de mercure (dites incandescentes) sont des ampoules qui émettent dans une gamme de blanc plutôt large. C'est le cas aussi des tubes fluorescents, type néon ;
- Les ampoules LED blanches, bien que moins énergivores, possèdent les spectres d'émission les plus larges possédant un important pic de bleu. Les halogénures métalliques émettent aussi dans les tons blancs bleus très préjudiciables pour la biodiversité.

c. Direction des flux

La direction dans laquelle émet un point lumineux va aussi être un facteur important dans les nuisances lumineuses :

- Un lampadaire qui émet vers le sol sera plus efficace, gaspillera moins d'énergie et sera plus adéquat pour réduire les impacts de la pollution ;
- Les sources lumineuses qui émettent en direction du ciel ou de l'environnement vont avoir des impacts sur le milieu en éclairant des zones qui ne nécessitent pas de lumière (gaspillage énergétique), des espaces naturels ou encore des façades. Les lumières qui ont une forte orientation vont éclairer vers le ciel et seront visibles de plus loin. L'éclairage du ciel participe à l'élargissement des halos lumineux. Appelé techniquement ULOR, (Upward Light Output Ratio) qui se calcule en pourcent, il représente la part de flux de lumière émise par une source en direction du ciel
- S'ajoute à ce phénomène la réverbération des éclairages sur le sol. Il s'agit du DLOR (Downward Light Output Ratio), donc la part de flux émis en direction du sol auquel s'ajoute un coefficient de réflexion qui est établi à partir de la nature du sol.
 - A partir de ces données est calculé l'ULR (Upward Light Ratio) qui représente la part du flux émis en direction du ciel supérieur au flux total. L'ULR est égale $ULR(\%) = ULOR / (DLOR - ULOR)$

Représentation ULOR/DLOR :

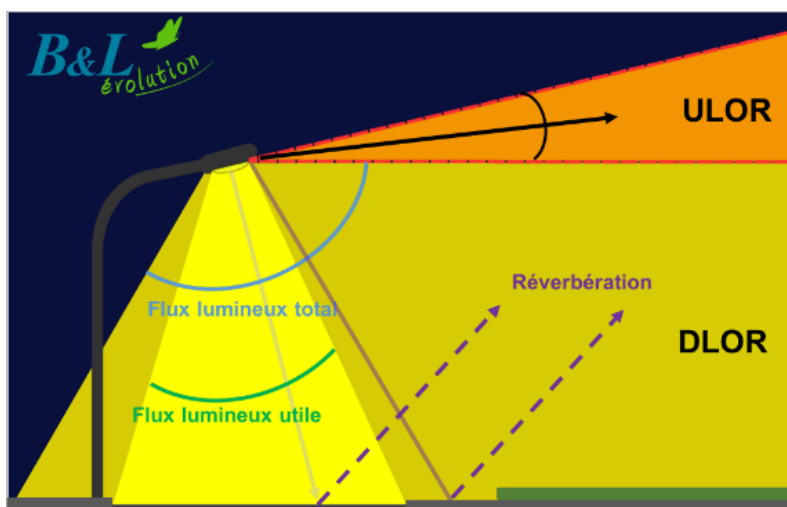


Figure 3 ULOR/DLOR

II. Méthodologie

II.1. Campagne de collecte de données

Cette campagne de mesure s'est déroulée en 3 temps :

1. Pointage des points lumineux

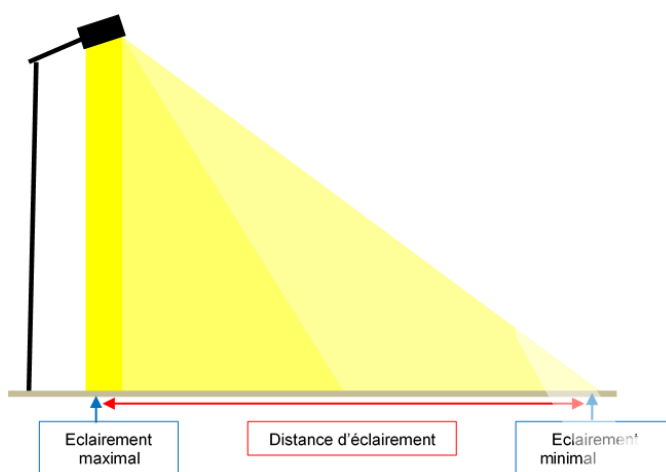
L'objectif de cette phase est de recenser l'ensemble des points lumineux au sein du périmètre et de les localiser grâce à un GPS afin de faciliter la modélisation. Cette phase se déroule de jour. Seuls les éclairages du domaine public ont fait l'objet d'une analyse

2. Mesures d'éclairage

Les mesures d'éclairage sont réalisées grâce à un luxmètre. Un luxmètre est un appareil de mesure composé d'un capteur et d'un boîtier de commande. Le capteur est une lentille qui va permettre de mesurer la quantité d'éclairage réel émise par une source à un endroit précis. Cette quantité est alors traduite par le boîtier en nombre de lux (unité d'éclairage lumineux).

La mesure est réalisée avec le capteur au niveau du sol, sans obstructions entre la mesure et la source (évitant les ombres, reflets possibles dus à l'environnement urbain). Pour chaque source lumineuse nous avons effectué plusieurs mesures afin de qualifier l'éclairage émis :

- Éclairage max : l'éclairage maximal permet de connaître la plus grande quantité possible émise au sol par un point lumineux. Cette mesure est réalisée généralement (selon les types de lampadaires) au point le plus proche de la source.
- Distance d'éclairage : permet de mesurer la distance maximale sur laquelle une source lumineuse va avoir un impact. Pour cela, nous cherchons l'éclairage minimal (soit 0,1 lx d'ambiance lumineuse¹ + 0,1 lx dû à la source d'éclairage) au sol émis par une source, puis nous mesurons la distance (en mètres) entre cette mesure et le point lumineux



¹ On trouve rarement 0 lx à cause de l'ambiance lumineuse présente (autres éclairages urbains...) notamment sous d'important halo lumineux urbain ; on considère alors l'éclairage le plus faible à 0,1 lx.

3. Analyse des lampadaires

Une analyse succincte des caractéristiques des lampadaires a été réalisée lors de la campagne de mesure. Il s'agit d'observations sur la couleur du flux, la hauteur des lampadaires, le degré d'inclinaison (ULOR)

4. Mesures de qualité du ciel

La mesure de qualité du ciel est effectuée avec un « Sky Quality Meter ». Un SQM est un instrument de mesure de la qualité de l'obscurité du ciel (radiance) en $\text{arc}\cdot\text{sec}^2$. L'appareil mesure la brillance du ciel par un capteur sensible à la lumière, (où les infrarouges sont exclus grâce à un filtre) moyennée sur une zone de ciel correspondant à la projection d'un cône. Chaque point de mesure est géoréférencé par une mesure de position depuis un GPS



Les flux lumineux directs interfèrent grandement sur le capteur du SQM ainsi que tous flux naturels comme la lune. La réverbération du halo par les nuages peut aussi jouer un rôle ainsi que la présence de pollution atmosphérique où les particules peuvent refléter et accentuer les données mesurées. Le cas échéant, un ajustement statistique peut être effectuée sur les données mesurées pour se rapprocher au mieux de la réalité.

Dans ce sens, la collecte de mesure s'est calée sur le calendrier lunaire, elle a eu lieu le 02/07/2019, nuit de nouvelle lune. La nuit été clair, sans nuage, ni flux direct à moins de 30 mètres. Ainsi aucun ajustement statistique n'a été effectué pour cette étude.

Les modélisations finales ont été tout de même comparées avec [l'atlas mondial de la pollution lumineuse](#)

(<https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=4&lat=5759860&lon=1619364&layers=B0FFFFFFF>).

Celui-ci étant élaboré à partir de données satellites et d'urbanisation (donc moins précis). Les données mesurées sont entièrement compatibles avec l'atlas (relativement proche).

Observations pollution lumineuse

En parallèle des mesures, plusieurs indicateurs sur la biodiversité peuvent être observés par l'opérateur. Notamment sont relevés toutes les possibles espèces rencontrées (mammifères, avifaune, insectes...), le taux d'insectes volant sous les installations, la présence de chauves-souris ainsi que les habitats présents sur site (relevé de haies, mares, forêt, grottes, milieux humides...). Il ne s'agit pas d'inventaire exhaustif, ce travail permet de compléter les inventaires écologiques déjà réalisés et surtout d'aiguiller la définition des enjeux.

II.2. État initial

A partir des données mesurées, un état initial de l'environnement nocturne est effectué. Celui-ci se déroule en plusieurs étapes :

1) **Traitement statistique des relevés**

L'ensemble des relevés et des observations sont retranscrites depuis les fiches de terrain dans un tableur Excel. C'est à ce moment-là que peuvent être effectuées les modifications nécessaires qui ont pu se produire lors de la campagne et les ajustement sur les données (artefacts et données faussées). Aucun traitement statistique a eu lieu pour cette étude

2) Modélisation des éclairages et des flux lumineux

A partir des relevés sur les éclairages et de leur pointage GPS, une modélisation des flux directs est effectuée sur SIG (Système d'Information Géographique) à partir du travail d'interpolation et d'analyse physique de la lumière. Le logiciel utilisé est QGIS. Ce qui permet d'avoir une vision sur le flux lumineux et la quantité de lux au sol est effectif depuis les points lumineux à l'intérieur du site d'étude

3) Modélisation du halo lumineux

Cette étape est effectuée à partir des données d'obscurité mesurée par le SQM et disposées sur carte depuis les relevés GPS. Une modélisation est effectuée sous SIG par interpolation établie spécialement pour l'étude des halos lumineux. Le résultat permet de connaître l'obscurité et l'environnement nocturne à l'état initial.

4) Définition des enjeux

Une première analyse des enjeux écologiques et humains est rédigée depuis les données fournies et les observations de terrain comparée à l'état initial de l'environnement nocturne sur le site

II.3. Modélisation prédictive

À partir des données fournies sur le futur projet (données technique d'éclairage) un scénario est imaginé d'une part sur les sources qui pourront être installés et les caractéristiques de leurs flux et le résultat attendu sur la diffusion de lumière dans l'atmosphère et la participation du projet sur la création du halo lumineux.

Le résultat permet la création d'une modélisation prédictive du futur projet sur l'environnement nocturne, permettant de comparer l'impact du projet par rapport à l'état initial.

II.4. Étude d'impact

L'étude d'impact porte sur les enjeux écologiques et humains sur le site avec la mise en place du projet et de sa mise en lumière.

- Impacts écologiques : Les impacts sur la biodiversité nocturne sont analysés sur les espèces observées et depuis les inventaires faunistiques fournis, sur les habitats remarquables et les continuités écologiques sur le secteur. L'étude portera donc sur la réponse possible de la biodiversité avec la mise en lumière du site. Une hiérarchisation de ces impacts est établie au regard des enjeux identifiés à l'état initial
- Impacts humains : L'analyse de l'impact humain concerne principalement les habitations qui pourront être concernées par une mise en lumière et les possibles problématique que cela peut engendrer sur la santé des riverains. Une note sera effectuée pour le personnels et les personnes au sein de l'établissement pénitentiaire

II.5. Préconisations et recommandations

En dernière partie, un ensemble de préconisations et recommandations sur les bonnes pratiques de l'éclairages, les techniques de mise pour limiter la contribution du projet à la production de pollution lumineuse et plusieurs conseils pour éviter et réduire les impacts de l'éclairage du projet sur la biodiversité et l'humain.

III. L'état initial de l'environnement nocturne

III.1. Description du périmètre d'étude

Le périmètre du futur projet se situe à proximité de la maison d'arrêt de Villepinte actuellement en fonction. Un périmètre étendu a été défini pour prendre en compte la structure existante et les habitations proches.

Le futur projet se situe au sein d'un champs cultivé (blé) et concerne une surface approximative de 15ha. Il est encadré au sud par l'autoroute Francilienne A104 et à l'ouest par l'établissement pénitentiaire existant. Le nord et l'est sont des surfaces cultivées.

Plan du projet :

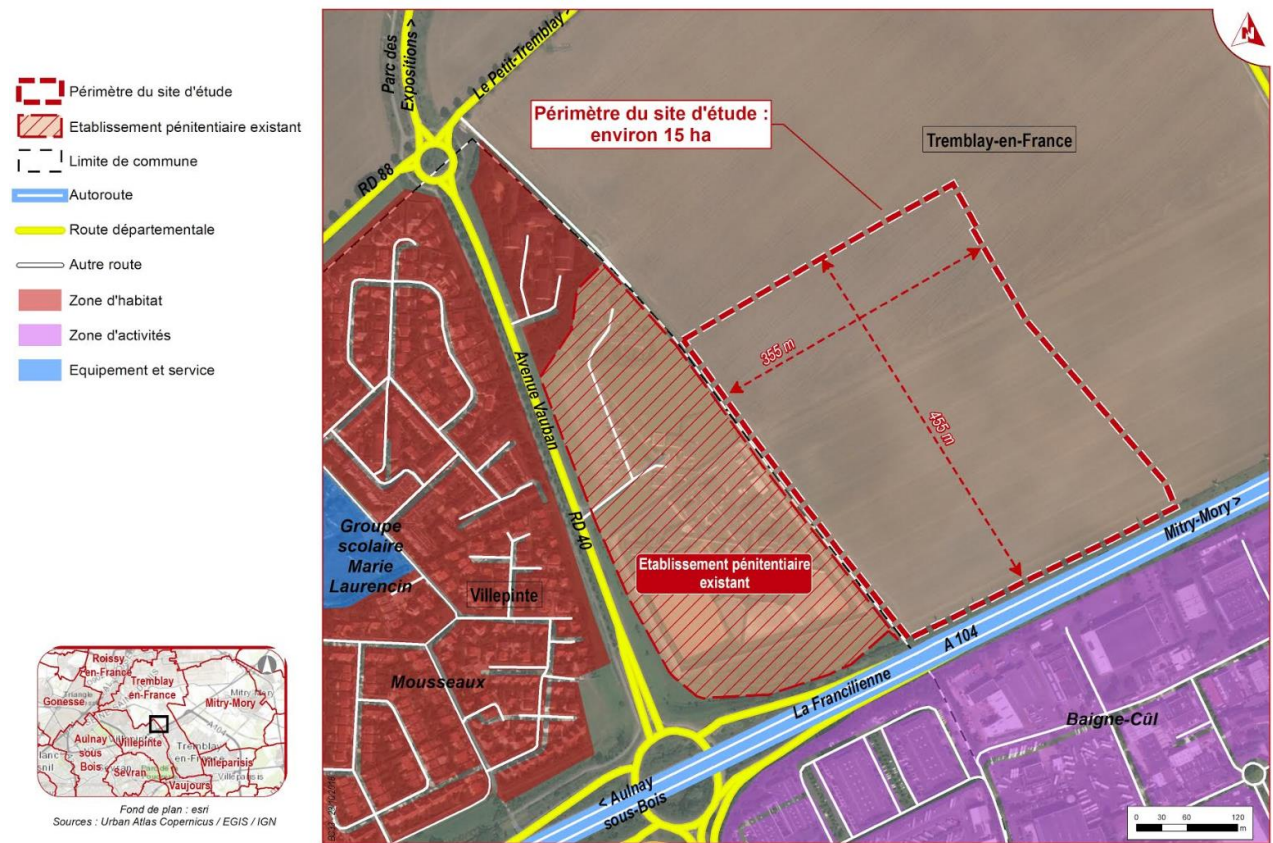


Figure 4 : plan du projet

Pour étudier les enjeux de pollution lumineuse du futur projet, une échelle plus pertinente a été imaginée pour visualiser la globalité de l'environnement nocturne et prendre en compte la limite des habitations proches et d'intégrer l'ensemble du champ. Le périmètre d'étude de pollution lumineuse approuvé est délimité au sud par la Transilienne, à l'ouest par l'avenue Vauban (à la limite des premières habitations), au nord par la route de Viellepinte « le Petit-Tremblay » et à l'est le Chemin des Vaches. L'intersection de ces deux dernières marque le départ de l'urbanisation de la commune de Tremblay-en-France.

Description du périmètre :



Figure 5 : description du périmètre retenu

Le périmètre retenu recouvre environ 100 ha (98,8ha). Au sein de celui-ci on retrouve :

- L'ensemble du champs cultivé
- La maison d'arrêt actuelle
- Les diverses axes de communication
- Une bande enherbée laissée en jachère séparant le champs de l'autoroute (environ 15 mètre de large)
- Une îlot en jachère, il s'agit d'un muret colonisé par la végétation au nord
- Des haies sur la partie nord-ouest, l'ensemble de la route de Villepinte et sur la partie sud du Chemin des Vaches

III.2. Résultat de la campagne de mesure

La campagne de mesure s'est déroulée le 02/07/2019. Elle a démarré après le crépuscule (nuit noire) à environ 23h00, avec aucun nuage.

Comme vu dans la partie méthodologie, la campagne de mesure a compris 3 étapes :

a. La localisation des éclairages, mesures de flux et descriptions des lampadaires :

Chaque type de lampadaire présent au sein du périmètre d'étude est inventorié, détaillé et géolocalisé par le biais d'une prise de mesure GPS. Ensuite, une séance de mesure est effectuée grâce au luxmètre pour quantifier l'éclairement au sol (lux).

Au total, 137 points lumineux ont été recensés sur le périmètre. Parmi cela, on retrouve 5 types de lampadaires :

Types	Ampoules	Lux au sol	Quantité recensée	Hauteur (m)	Couleur du flux	Impact potentiel pollution lumineuse
Classique routier*	Sodium Haute Pression (SHP)	50	41	8	Orange	Faible
LED éclairage maison d'arrêt*	LED	50	37	10	Blanc froid	Moyen
LED routier	LED	50	7	8	Blanc froid	Moyen
Éclairage rond-point autoroute	SHP	30	2	10	Orange	Faible
Lanterne	LED	20	6	5	Blanc chaud	Moyen

Tableau 1 : types de lampadaire

*Certains de ces éclairages sont doublés. Ils sont considérés ici comme un seul point lumineux, mais doublés dans l'analyse de l'éclairement. Exemple :



Éclairage double



Éclairage simple

Localisation des éclairages :



Figure 6 carte des éclairages

Les éclairages se situent exclusivement sur les bord est et ouest du périmètre étendu, auxquels s'ajoutent les éclairages autour de la maison d'arrêt. Les éclairages à l'intérieur de l'enceinte bâtie ne sont pas pris en compte dans cette étude (pas de mesure possible).

b. Mesure d'obscurité

Les mesures d'obscurité sont réalisées grâce au SQM (Sky Quality Meter, voir « Méthodologie »). Au total, plus de 50 points SMQ ont été réalisés sur le périmètre, les 20 les plus pertinents ont été sélectionnés. Chaque point de mesure fait l'objet d'une prise de mesure au GPS.

Carte des points de mesures SQM :



Figure 7 : mesures SQM

Le SQM permet de mesurer la noirceur du ciel en magnitude par arc seconde au carré ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$). Plus la magnitude est élevée, plus la noirceur sera importante. L'échelle des unités est comprise entre 16,5 pour un ciel très pollué à plus de 23 $\text{mag}/\text{arcsec}^2$, ciel exceptionnel absent de toute pollution lumineuse.

Les mesures sur le site vont de 16,8 à 18,27 magnitude/arcsec² :

Points	Données SQM	Points	Données SQM	Points	Données SQM	Points	Données SQM
1	16,89	6	17,18	11	18,2	16	18,12
2	16,85	7	17,23	12	18,27	17	18,19
3	16,86	8	18,1	13	18,09	18	17,47
4	16,9	9	17,27	14	18,22	19	17,1
5	17	10	17,52	15	17,4	20	16,79

Problème(s) rencontré(s) lors de la prise de mesures au SQM :

Plusieurs problématiques peuvent être rencontrées lors de la campagne de mesure (trop de lumière, ciel non dégagée (arbres), surface en eau...) limitant l'opérateur.

- Pour cette étude une seule problématique s'est présentée lors de la prise de mesure : la présence du blé cultivé dans les champs qui a pu limiter la progression de l'opérateur. Cependant, en suivant les chemins d'accès (au niveau du passage créé par les roues de la machine agricole), les mesures couvrent l'ensemble du périmètre du projet et une grande partie du périmètre d'étude suffisant à l'étude. *La principale difficulté rencontrée a été notamment au sud-est (l'angle près l'autoroute où le champ était inaccessible).*

III.3. Modélisation de l'éclairement

L'éclairement représente la quantité de lumière émise par une source sur une surface. Mesuré en lux (par un luxmètre) directement sur le sol au pied des points lumineux, l'éclairement est un des facteurs qui permet d'expliquer la production de lumière parasite qui alimente le halo lumineux, notamment par réverbération de flux avec un éclairement important.

La modélisation de l'éclairement traite et présente l'éclairement au sol, d'une part à partir des relevés effectués sur le terrain et en tenant compte que la diffusion de l'éclairement est inversement proportionnelle au carré la distance. C'est-à-dire que si on double la distance, l'éclairement est divisé par 4.

À partir de ces données, une carte des éclaircements au sol est créée depuis un SIG (Système d'Information Géographique). Cette carte montre donc l'éclairement en lux et son influence directe (jusqu'à 1 lux mesuré).

Modélisation de l'éclairage sur le périmètre étendu :



Figure 8 : éclairage au sol

L'éclairage au sol est le plus important sur l'avenue Vauban, cela s'explique notamment par l'accumulation de nombreux lampadaires avec une hauteur importante, notamment autour du rond-point au nord. Contrairement à ce que peut montrer la modélisation, ces éclairages ne portent pas directement préjudice aux habitations à l'ouest de l'avenue, les flux étant obstrués par un talus entre la route et les premières habitations.

Le « Chemin des Vaches », à l'est, est aussi éclairé mais les flux sont moins importants car moins concentrés. La route de Villepinte ne dispose d'aucune source lumineuse, exception faite au nord, à l'entrée de la ville de Tremblay-en-France où sont présents les lanternes LED. Leur éclairage est assez faible et les points lumineux sont peu nombreux.

Les flux à l'intérieur de l'enceinte bâtie de la maison d'arrêt ne sont pas étudiés.

III.4. Modélisation de l'obscurité sur site

Le site se situe au sein de le halo global de la région urbanisée de Île-de-France qui commence à perdre en intensité en direction du nord

Carte de la pollution lumineuse de l'Île-de-France issue de l'atlas mondiale de la pollution lumineuse² :

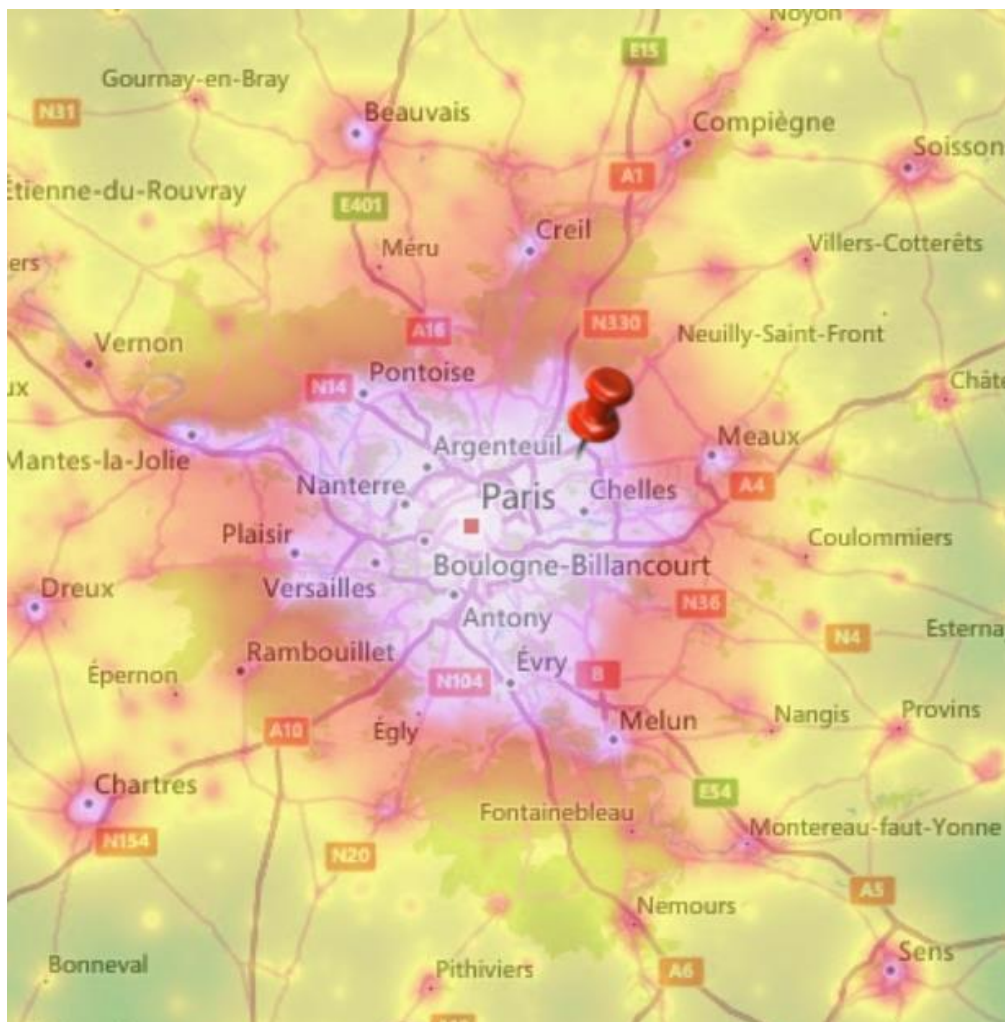


Figure 9 : halo lumineux d'Île-de-France

La modélisation de l'obscurité (ou du halo lumineux) du site est donc la retranscription des mesures SQM par interpolation réalisées sur le terrain. Une méthode permettant de définir des données entre les points de mesures tenant compte de l'influence (poids) des points adjacents. Ce travail donne une précision nettement supérieure à l'atlas mondial de la pollution lumineuse.

² Atlas de la pollution lumineuse :

<https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=7&lat=6282234&lon=359616&layers=B0FFFFFFF>

Carte du halo lumineux au sein du périmètre d'étude :

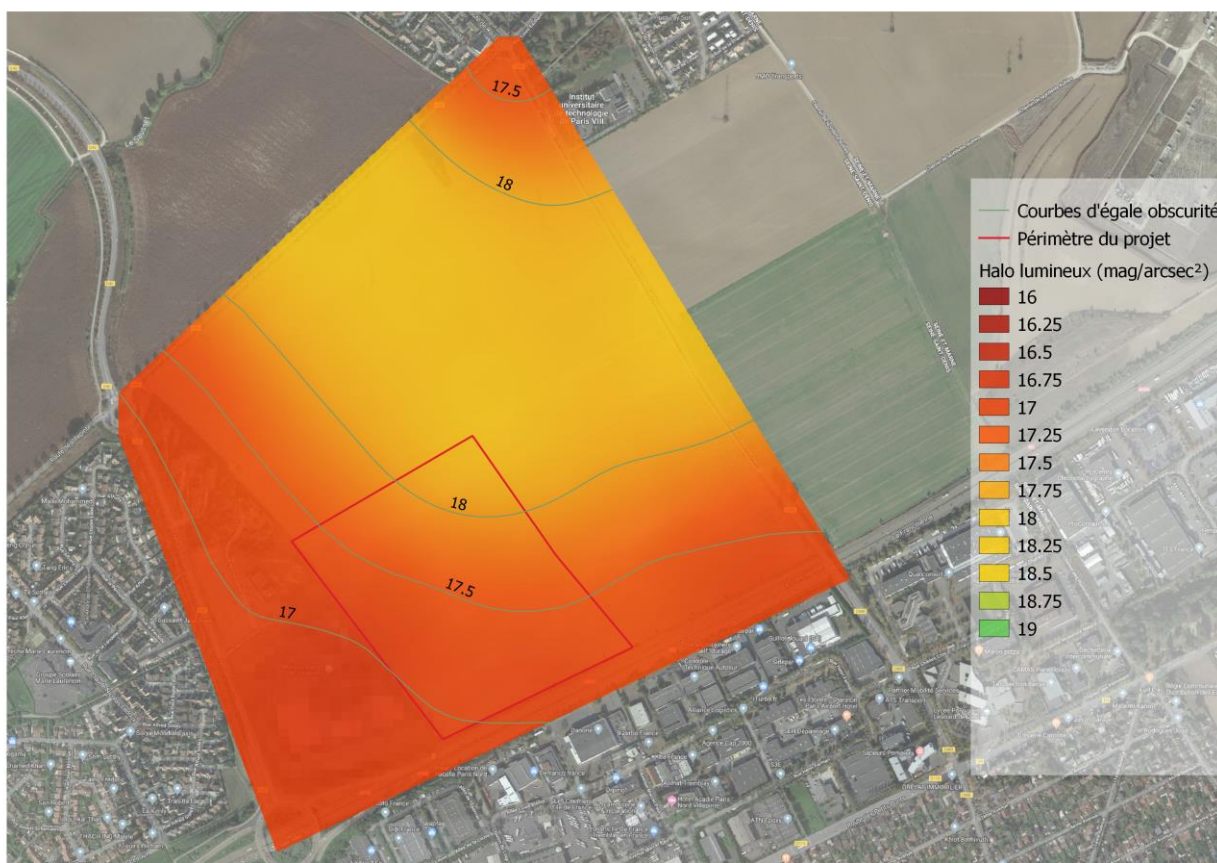
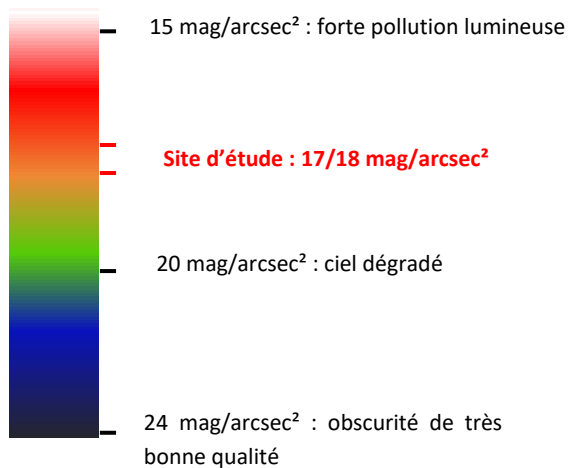


Figure 10 : carte du halo lumineux

L'obscurité du ciel est particulièrement dégradée sur le terrain d'étude. Le sud-ouest (maison d'arrêt actuelle) comprend des données autour de 16,8 mag/arcsec² qui est directement influencé par les nombreux éclairages de la prison. Ensuite, les mesures avoisinent 17 mag/arcsec² le long de l'avenue Vauban et le long de la Francilienne. En direction du nord, la halo s'estompe légèrement car aucun flux lumineux ne vient l'alimenter au sein de l'unité cultivée, puis se renforce de nouveaux en direction de la ville de Tremblay-en-France avec les éclairages urbains que l'on peut y trouver.

Ces valeurs montrent un ciel dégradé représentatif des paysages de transition d'agglomérations urbaines où l'urbanisation se déconcentrent (périurbanisation) en laissant place à des paysages plus ruraux avec une meilleure qualité du ciel. Selon l'atlas, le site se situe en transition ville/suburbain.



On note que les éclairages sur le « Chemin des Vaches » ont très peu d'influence sur le ciel nocturne. Cela peut s'expliquer par le fait que les paramètres des éclairages présents sont peu impactant (lumière orange, flux bien maîtrisés...) et qu'ils sont particulièrement isolés (à l'est de celui-ci se situe un autre champs cultivé avec l'absence total d'éclairage)

Carte de la qualité du halo lumineux sur le futur projet :

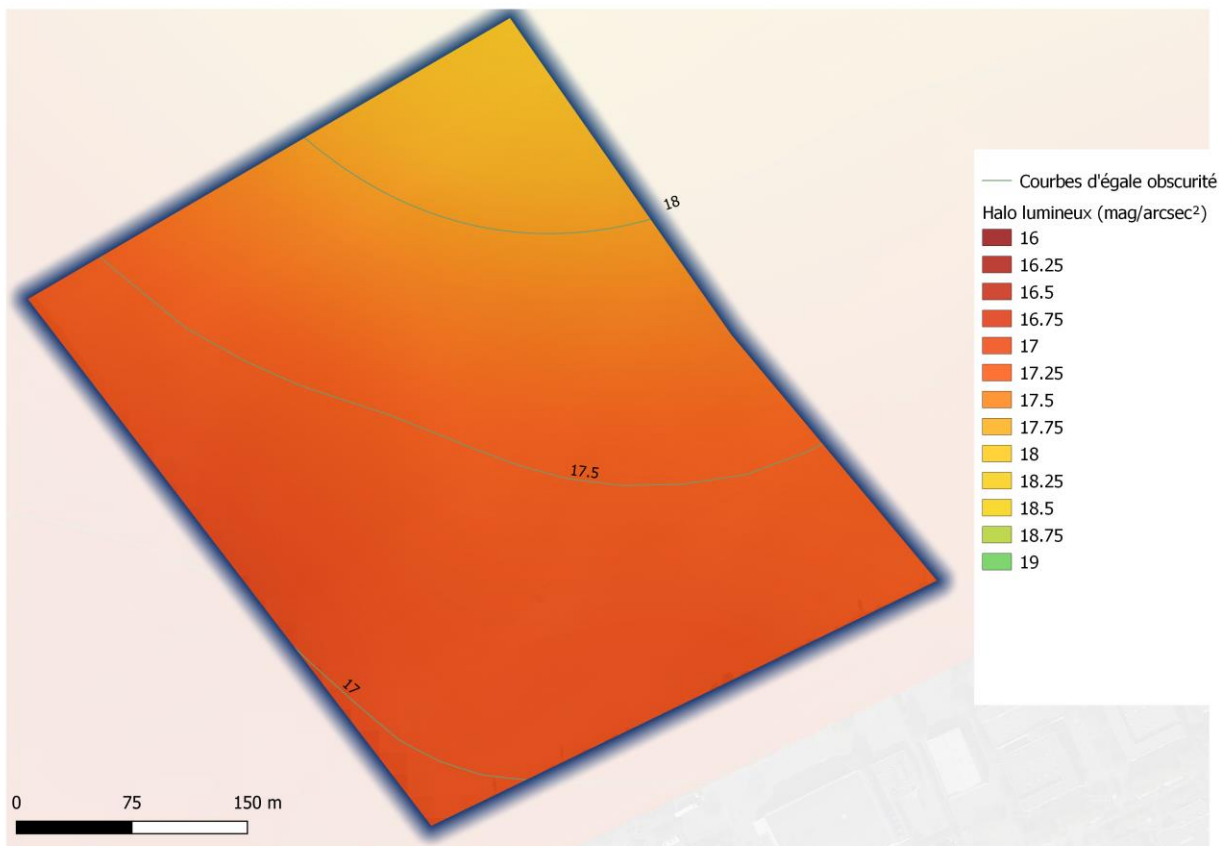


Figure 11 : halo lumineux sur le périmètre du projet

L'obscurité sur le périmètre du future projet est comprise entre 18,9 (au sud) et 18,1 sur la partie la plus au nord.

III.5. Définition des enjeux

Au sein de cette première partie, une première définition des enjeux est établie pour rendre compte des potentiels impacts. Ces enjeux traitent dans un premier temps de la biodiversité puis de la santé et le bien-être humain.

Les différentes modélisations montrent un ciel particulièrement dégradé où l'obscurité, que ce soit pour le périmètre étendu ou celui du projet, est absente. Des îlots peuvent toutefois ressortir localement comme proche des haies ou de la zone de jachère qui se situe le long de l'autoroute.

En plus d'une pollution lumineuse dominante, s'ajoute le manque d'habitat présent sur le site par le système cultural intensif du blé. Cependant, même si la biodiversité est restreinte, il est possible de trouver une biodiversité favorable aux milieux ouverts. L'étude de ces espèces n'est pas dénuée de sens.

L'étude portera sur les inventaires fournis ainsi que sur les observations notées lors de la campagne de mesure

Concernant la question du milieu humain, aucune habitation n'est présente au sein des différents périmètres, mais certaines se trouvent à proximité du périmètre étendu.

a. Les enjeux écologiques

La visite sur le terrain effectuée le 02/07/2019 a fait ressortir des enjeux écologiques assez faibles. Cela notamment par l'évaluation faite sur place de certains indicateurs.

Parmi les indicateurs recherchés :

- La présence d'insectes nocturnes : pour observer les insectes nocturnes, nous nous appuyons sur une observation faite directement sous les flux des lampadaires ou celui de la lampe frontale de l'opérateur. Il en ressort que très peu d'insectes ont été observés sous les flux des lampadaires. Sur le flux de la lampe frontale, le constat est assez proche, quelques individus supplémentaires ont été aperçus mais un nombre restant faible témoin d'une situation nocturne déjà dégradée.



Figure 12 : photographie ver luisant

Une espèce a été observée, il s'agit d'un ver luisant (*Lampyris Noctiluca*) femelle (qui produit de la lumière par bioluminescence). L'individu a été repéré près de l'îlot en jachère situé au nord du territoire. La femelle produit une lumière pour attirer les mâles et se reproduire, il n'est pas rare d'en observer proche de source lumineuse qui pourtant réduit leur chance de reproduction (les mâles confondant un point lumineux avec la lumière de la femelle réduisant les chances de reproduction). Il s'agit d'une espèce non réglementée (aucun statut de menace).

- La présence d'habitats favorables à la biodiversité nocturne : il s'agit principalement d'habitat permettant de fuir la lumière (haies, bois...), ou en lien avec des zones particulières (zones humides, ripisylves, pelouses et prairies sèches/humides/calcaires...). Les seuls habitats intéressants sur le territoire sont les zones de jachères et les zones de haies. Ils se concentrent sur les périmètres extérieurs de la parcelle.
- Autres espèces : parmi les autres espèces, nous recherchons la présence de chiroptères (chauves-souris), de mammifères (type gibier) ou encore d'oiseaux, d'amphibiens (chant des crapauds la nuit), etc. À cela, aucune espèce n'a été observée.

Ces observations ne sauraient justifier l'absence avérée des individus.

Parmi les études écologiques réalisées et fournies pour la réalisation de cette étude :

- Les principaux enjeux concernent essentiellement la présence d'oiseaux, de quelques insectes et mammifères observés.

- Les habitats remarquables qui ressortent sont notamment zones de jachères (talus enherbés) présents sur les extrémités du périmètre.

Il sera donc nécessaire d'intégrer dans l'étude d'impact, les enjeux concernant l'avifaune, les mammifères et les insectes, ainsi que le rôle de connecteurs écologiques des habitats présents.

b. Enjeux humains

Aucune habitation n'est présente sur le périmètre du projet et périmètre étendu. Parmi les zones pouvant être touchées au-delà du périmètre étendu :

- À l'ouest de l'avenue Vauban, se situent les maisons les plus proches du périmètre d'étude. Cependant, elles sont protégées de la lumière directe par un talus enherbé qui les sépare de la route et de la maison d'arrêt (et du futur projet).

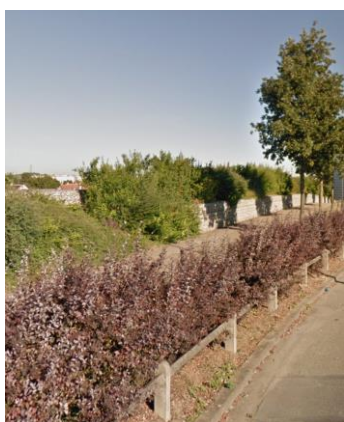


Figure 13 : avenue Vauban

- Au sud, (de l'autre côté de l'autoroute) il s'agit d'une zone d'activité sans habitation
- Au nord-est se trouvent les premières habitation de la ville de Tremblay-en-France. Cependant, elles se situent à plus de 900 mètres du futur projet aucun flux lumineux ne saura engendrer des nuisances impactant le bien-être et le sommeil des riverains

Synthèse des enjeux : l'état initial montre que la pollution lumineuse est déjà omniprésente sur ce territoire. Il s'agira d'être vigilant sur les espèces et les habitats identifiés. L'étude d'impact se fixera pour objectifs de déterminer les risques, et d'éviter et réduire les nuisances supplémentaires que le projet pourrait engendrer.

Les recommandations d'éclairage favoriseront la maîtrise de la pollution lumineuse sur ce territoire déjà dégradé.

IV. Modélisation prédictive

L'exercice de la modélisation prospective doit permettre de visualiser le halo lumineux après le projet et sa contribution à la dégradation de l'obscurité. Il s'accompagne d'une analyse des éclairagements prévus pour estimer les zones pouvant recevoir un flux direct et ainsi impacter les milieux et habitats.

C'est à partir de cette modélisation prédictive que sera établie l'étude des impacts du futur projet en termes de pollution lumineuse.

IV.1. Méthode

Pour la réalisation de la modélisation prédictive, nous disposons d'un certain nombre de données sur l'étendue du projet et les niveaux d'éclairagements minimum obligatoires à maintenir au sol selon les différentes structures de la maison d'arrêt qui seront construites.

a. L'étendue du projet et ses différentes structures

Le futur projet trouve sa place au sein du périmètre rapproché étudié à l'état initial. L'ensemble des données fournies ont été retranscrites et numérisées par DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) puis réintégrées au logiciel de SIG.

Carte du projet :

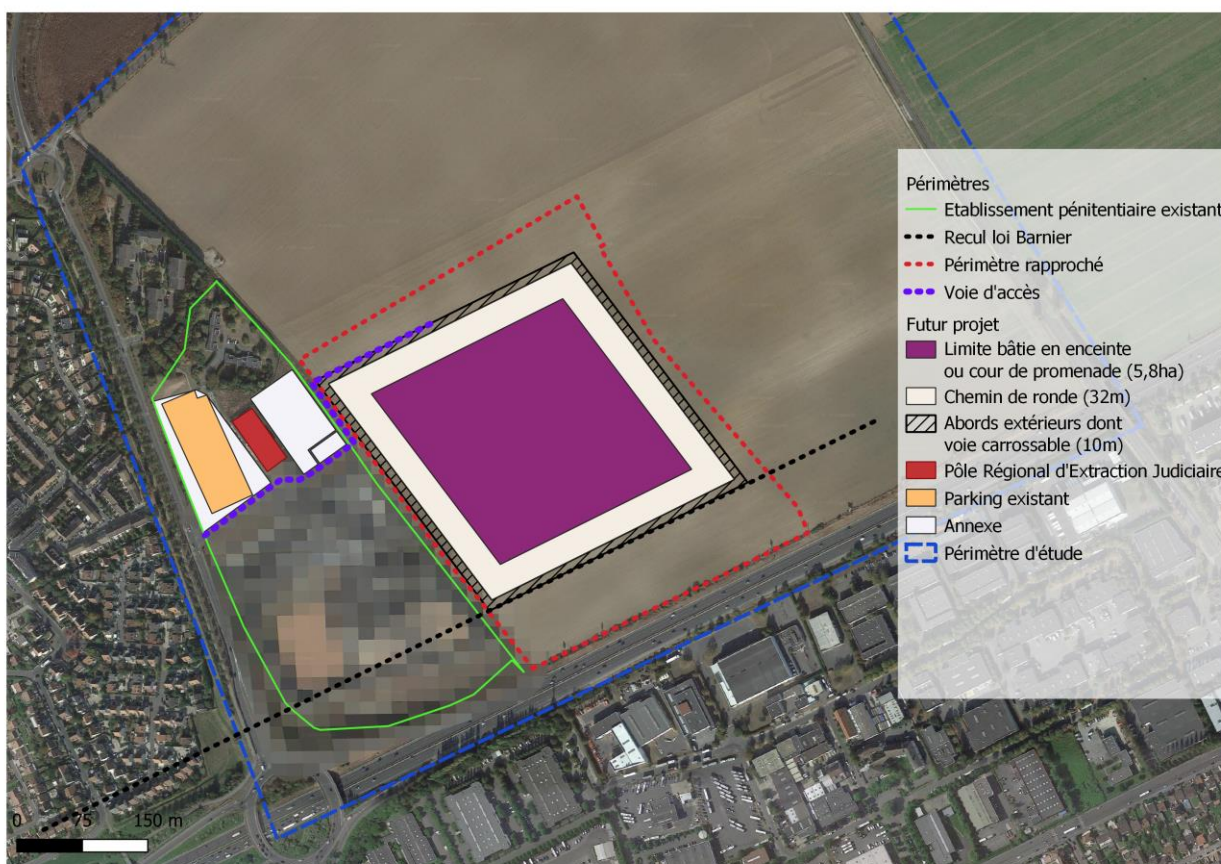


Figure 14 : futur projet

On retrouve sur le futur projet trois enceintes successives :

- L'enceinte bâtie : il s'agit de la surface bâtable qui mesure 245 mètre de côté soit une surface d'environ 5,8 ha
- Ensuite un chemin de ronde : celui-ci trouve avec une largeur de 32 mètres (soit une surface totale de 9,4 ha, enceinte bâtie comprise)
- Abords extérieurs dont voie carrossable (10 mètres)

Ensuite plusieurs autres bâtiments sont projetés au sein du site existant :

- Des annexes (bâtiments blancs sur a carte)
- Le pôle régional d'extraction judiciaire
- Le parking (déjà existant) d'une surface de 0,68ha)

Enfin une voie d'accès est projetée, traversant l'ancien site pour rejoindre le futur projet

b. Les éclairages envisagés

Concernant l'éclairage, l'étude intervient particulièrement en amont, dans ce sens aucun éclairage n'est aujourd'hui défini. Pour pallier ce manque d'information, la modélisation prédictive va s'appuyer sur deux choses :

- Les exigences réglementaires transmises en termes d'éclairage
- Les observations faites lors de la phase de récolte de données (pour les éclairages extérieurs exclusivement)

Auxquels s'ajoutent les discussions avec l'APIJ, commanditaire de l'étude et les données qui ont pu être fournies. La fourniture de données restant limité par l'aspect confidentiel et sensible des données.

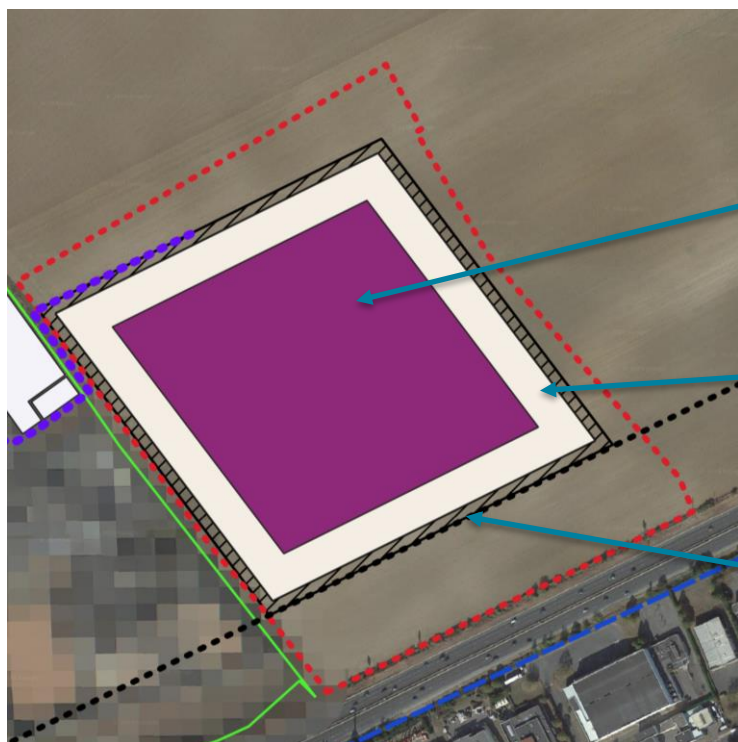
Les exigences réglementaires :

Les exigences réglementaires fixent un éclairage moyen au sol ainsi qu'un coefficient d'uniformité. Ce coefficient (d) est le rapport en l'éclairage minimum (E_{min}) et l'éclairage moyen (E_{moy}) :

$$d = \frac{E_{min}}{E_{moy}}$$

Il permet de définir le niveau de confort visuel nécessaire, c'est-à-dire que plus il est élevé, les zones les plus éloignées des sources doivent disposer d'un éclairage fort. Par exemple : avec un éclairage moyen de 20 lux et un coefficient de 0,4, l'éclairage minimum sur la zone doit être de 8 lux, alors qu'avec un coefficient de 0,6, l'éclairage minimum doit être de 12 lux (donc un meilleur confort visuel).

L'éclairage sur le projet :



Intérieur de l'enceinte (façades des bâtiments d'hébergement comportant des cellules) :
20 lux, coeff. d'uniformité : 0,6

Chemin de ronde :
30 lux, coeff. d'uniformité : 0,4

Enceinte périphérique (coté extérieur) :
20 lux, coeff. d'uniformité : 0,4

Figure 15 : exigences réglementaires du projet

De plus il a été imaginé pour ce travail prédictif, un éclairage global à l'intérieur de l'enceinte bâtie car ce seront les façades qui seront éclairées et des sources ponctuelles sur le chemin de ronde et l'enceinte périphérique. La disposition des sources ponctuelles a été copiée avec les éclairages aperçus durant la campagne de mesure. Ainsi, il a été considéré 1 lampadaire tous les 30 mètres, avec un flux lumineux fixé à 15 mètres de rayon (30 mètres de diamètre comme mesuré sur place).

Nous obtenons alors un éclairage au sol théorique suivant :

Carte de l'éclairage théorique du futur projet :

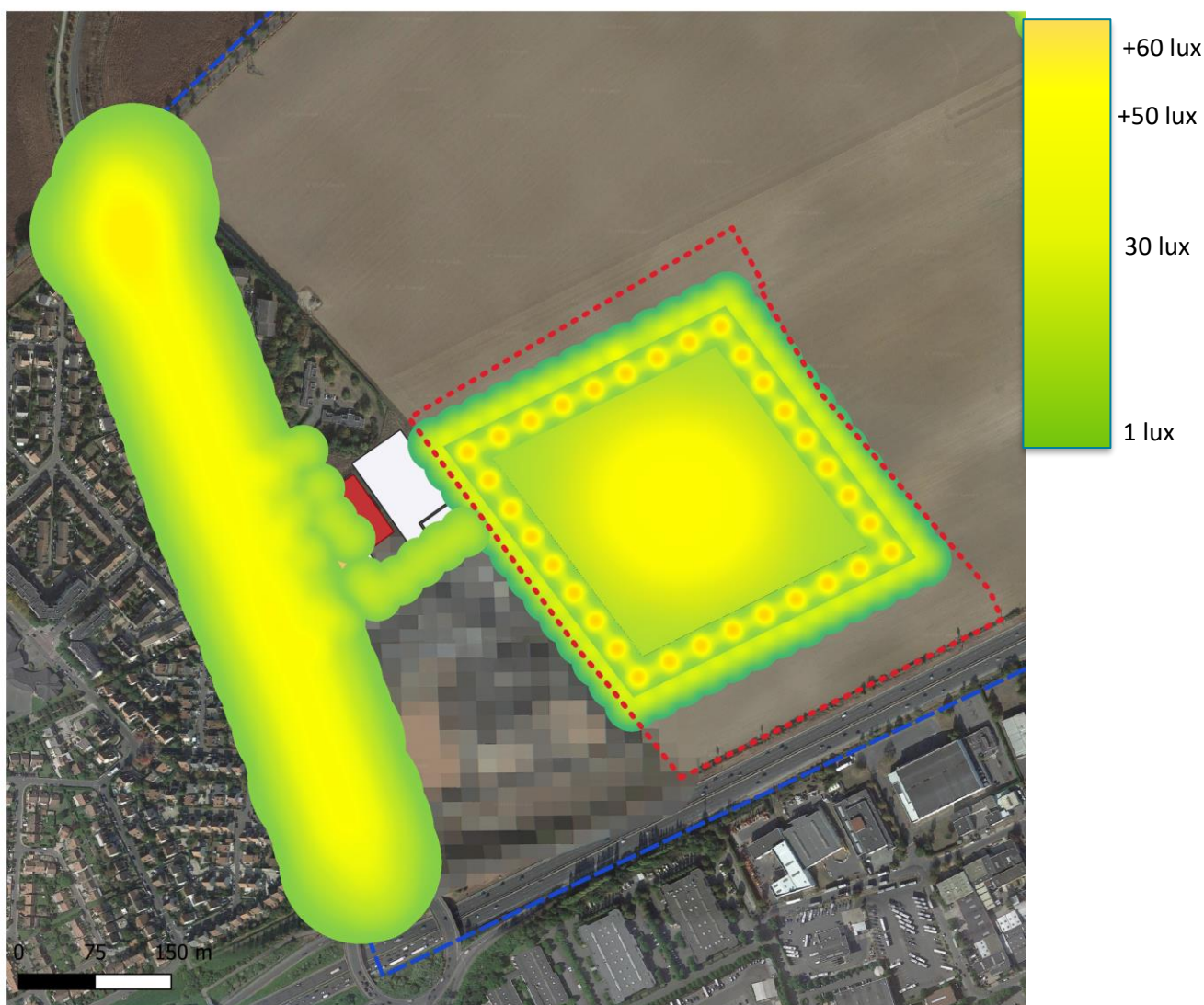


Figure 16 : éclairage théorique du projet

À partir de cette modélisation de l'éclairage, nous avons procédé à un ensemble de calculs permettant de convertir les données d'éclairage en magnitude par arc seconde² pour identifier, de manière théorique, l'influence du futur projet sur l'obscurité du périmètre d'étude.

Pour cela, nous avons considéré un ULOR (part de lumière émise vers le ciel) de 50% pour l'éclairage des façade à l'intérieur de l'enceinte bâtie et de 4% pour les éclairages des deux enceintes extérieures (moyenne actuelle dans l'éclairage des villes). Un DLOR (part d'éclairage vers le bas) de 50% pour l'enceinte et 96% au sein des enceinte et une facteur d'utilisation de 60% (moyenne de l'éclairage public actuel)

Ensuite nous avons calculé la part de réflexion grâce à un coefficient moyenné :

- Herbe et sol naturel : compris entre 0,18 et 0,23. 0,2 retenu
- Béton : compris entre 0,32 et 0,51. 0,4 retenu

Nous nous sommes appuyés sur la note de l'Association Française de l'Éclairage (AFE) [éclairage extérieur : contribution à la formation du halo lumineux dans le ciel nocturne]]. À partir de ces données

théoriques et des calculs nous obtenons une radiance de $\pm 0,026 \text{ W/m}^2$. La radiance est une unité radiométrique mesurant la quantité de lumière sur une surface.

Nous avons converti ensuite cette radiance en mag/arcsec^2 (formalisée par l'International Dark-sky Association, référence mondiale spécialisée dans la pollution lumineuse) et nous obtenons un résultat de 16,5 sur le point le plus important sur le périmètre du projet.

Ces calculs sont à considérer avec une marge d'erreur potentielle du fait que les données en entrée sont théoriques, mais les résultats semblent probants, notamment avec le fait qu'il se rapprochent fortement de la magnitude par arc seconde calculée pour l'ancien bâtiment (légèrement plus accentués, mais qui s'explique par une surface plus importante).

IV.2. Résultats

À partir de ces données calculées et de la modélisation de l'éclairage potentiel sur le projet nous pouvons exprimer le fait que les plus fortes intensités gagnent du terrain en direction du nord, réduisant les surfaces les plus sombre. À considérer toutefois, le fait que les espaces les moins touchés restent particulièrement dégradés ($\pm 18 \text{ mag/arcsec}^2$).

Carte de l'obscurité du ciel attendue avec la mise en place du projet :

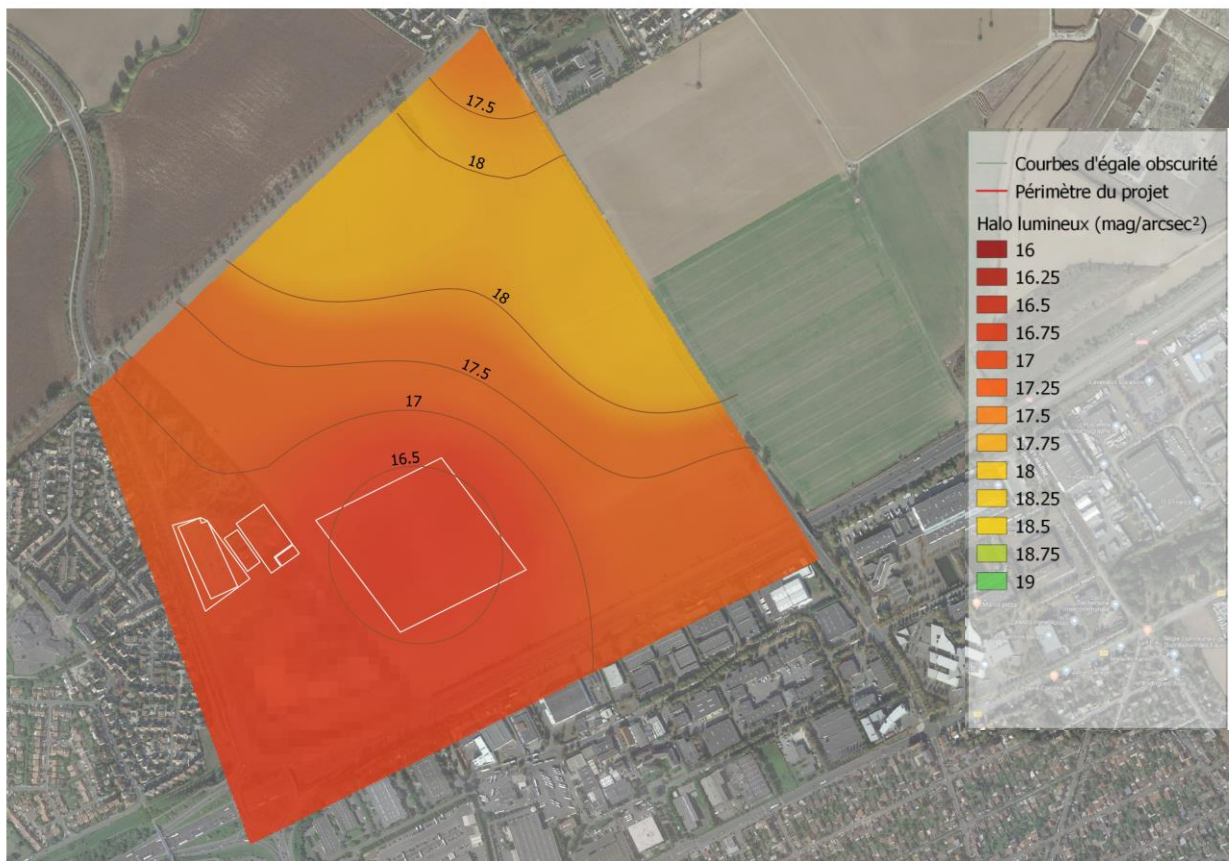


Figure 17 : halo lumineux du futur projet sur le périmètre d'étude

Sur le périmètre du projet, la luminosité dans le fond du ciel augmente mécaniquement du fait qu'il accueillera le bâtiment. Celui-ci nécessite un minimum de lumière durant toute la période de la nuit et

c'est essentiellement l'éclairage des façades, qui induit une perte de lumière en direction du ciel, qui est le plus préjudiciable.

Halo lumineux sur le périmètre du projet :

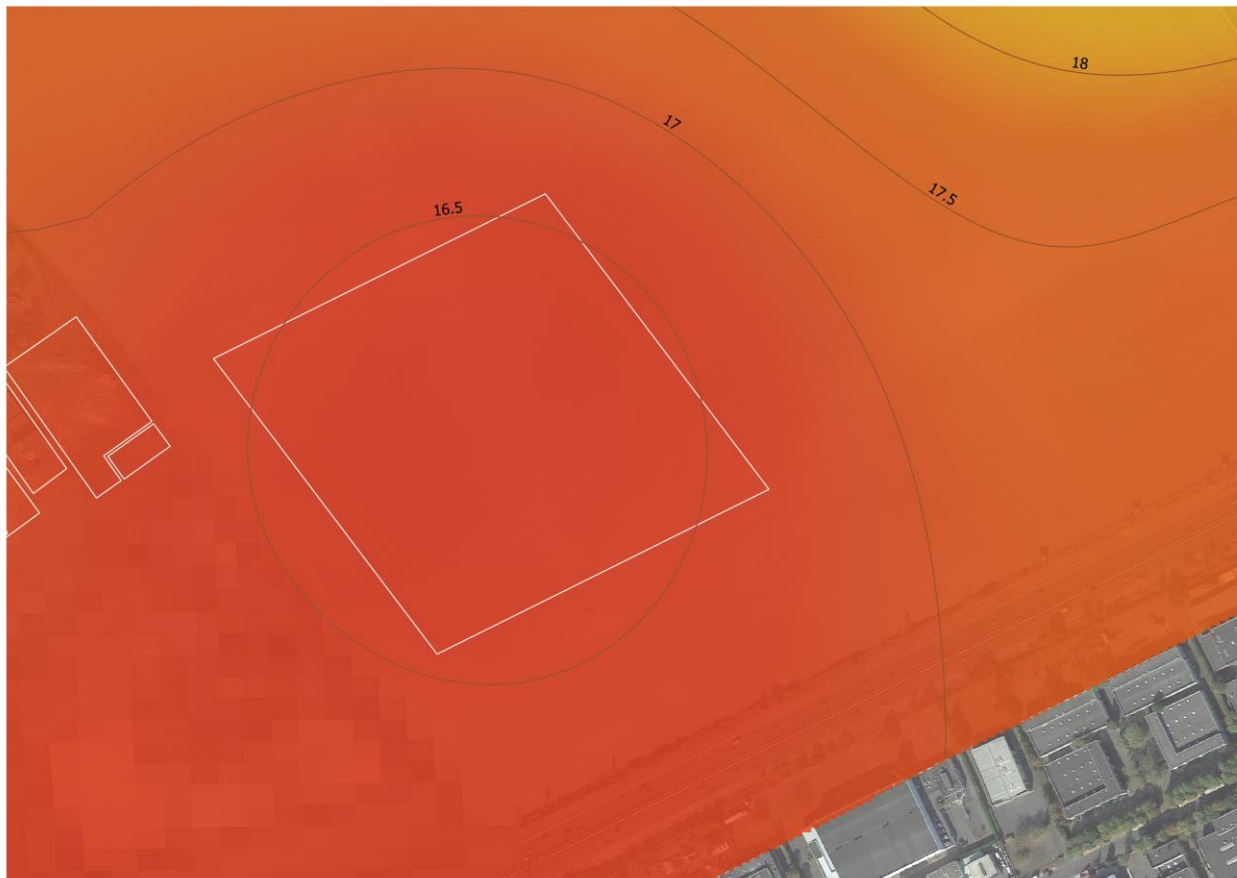


Figure 18 : halo lumineux sur le périmètre du projet

IV.3. Les enjeux

Le projet induit un halo plus intense qui tient du fait que la réglementation oblige un éclairage minimum à maintenir. Par rapport au site d'étude à l'état initial, le seul enjeu en termes d'obscurité comparé aux enjeux identifiés en première partie, concerne la bande enherbée le long de l'autoroute, où la luminosité sera plus intense au niveau de la prison. Le champs cultivé disposera d'une obscurité réduite à proximité du projet.

Selon la modélisation théorique des éclairages, aucun des habitats remarquables recensés sur le périmètre d'étude ne recevra de flux directs de plus de 1 lux.

V. Étude d'impacts

La partie étude d'impact doit permettre d'évaluer 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.

En matière d'éclairage public, la législation française fixe des obligations de résultats visant à limiter et réduire les nuisances lumineuses.

Cependant, les exigences réglementaires concernant les éclairages des centres pénitentiaires obligent un éclairage minimum à maintenir toute la nuit et cela selon les différentes zones. L'étude de l'impact tiendra compte de ces exigences et se basera sur les éclairages qui ressortent de la modélisation prédictive.

V.1. Les impacts attendus sur la biodiversité

a. Étude d'impacts sur les espèces

L'étude d'impacts sera réalisée par taxons et pour chaque taxon, il sera présenté :

- Les effets globaux de la pollution lumineuse sur le taxon
- Les espèces présentes (à partir des inventaires de l'étude écologique fournis et les observations de terrain)
- Les enjeux
- Les impacts du projet qui tiendront compte des effets de la pollution lumineuse comparée aux enjeux

L'étude portera aussi sur les habitats de manière générale présents sur le secteur d'étude et sur le périmètre du projet.

Une dernière partie voudra évaluer les incidences d'une mise en lumière dans le contexte des cohérences écologiques et de la proposition de trame verte et bleue.

Analyse des taxons

Parmi les taxons recensés on retrouve celui de l'avifaune, des insectes et des mammifères (chiroptères compris).

L'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. 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).

Les espèces inventoriées sur le périmètre :

Accenteur mouchet	Dans les jardins proches de la zone d'étude
Alouette des champs	Au sein de la zone d'étude
Bergeronnette printanière	Talus enherbé (halte migratoire)
Chardonneret élégant	Arbres dans le périmètre de la maison d'arrêt (chant)
Corneille noire	Aux abords des champs
Étourneau sansonnet	Friches au sein de la maison d'arrêt (alimentation)
Faucon crécerelle	Cultures (dont zone d'étude – chasse)
Fauvette à tête noire	Arbres dans le périmètre de la maison d'arrêt (chant)
Fauvette grisette	Bordures enherbées de la maison d'arrêt
Hirondelle de fenêtre	Alimentation en vol au-dessus de la zone d'étude
Hirondelle rustique	Alimentation en vol au-dessus de la zone d'étude
Hypolaïs polyglotte	Friches au sein de la maison d'arrêt
Linotte mélodieuse	Bordures enherbées de la maison d'arrêt et friche au sein de la maison d'arrêt
Martinnet noir	Alimentation en vol au-dessus de la zone d'étude
Mésange charbonnière	Dans les jardins proches de la zone d'étude
Pie bavarde	Cultures (dont zone d'étude – alimentation) Alimentation (talus)
Pigeon biset	Cultures (déplacement)
Pigeon ramier	En vol au-dessus des cultures
Pouillot véloce	Arbres dans le périmètre de la maison d'arrêt (chant)
Rougequeue noir	Bâtiments de la maison d'arrêt (chant) Maison d'arrêt (reproduction)

Tableau 2 : inventaire avifaune

Parmi les espèces à enjeux sur l'avifaune on note :

- L'alouette des champs : classée vulnérable au niveau régional
- Faucon crécerelle : espèce protégée et quasi-menacée au niveau régional
- Fauvette grisette : protégée au niveau national
- Linotte mélodieuse : protégée et vulnérable au niveau national et régional
- Toutes les autres espèces protégées (Chardonneret élégant, Fauvette à tête noire, Pouillot véloce, Rougequeue noir) ont été observées / entendues en dehors de la zone d'étude (périmètre actuel de la maison d'arrêt et résidences accolées).
-

Incidences notables du projet :

Parmi les espèces identifiées, la principale problématique est la nidification qui pourra être repoussée sur un secteur distant des flux directs. Si ces oiseaux nichent à l'état actuel, la nidification pourra se faire un peu plus loin, cependant certaines espèces ne pourraient pas trouver de niches directes.

➤ **L'impact est classé de modéré**

Invertébrés :

La pollution lumineuse a un impact extrêmement fort sur les invertébrés et notamment les espèces volantes. Un maillon très important de la chaîne alimentaire d'un écosystème qui est très impacté par les flux directs et les halos lumineux très intenses. Et ce sont notamment les lumières émettant dans des gammes d'ultra-violet et courtes longueurs d'ondes (bleu) qui ont le plus d'impacts. La réaction principale chez les invertébrés est une phototaxie positive marquée, c'est-à-dire que les espèces sont principalement attirées par la lumière. Ce phénomène est notamment visible pour les insectes volants qui se concentrent sous les lampadaires.

La pollution lumineuse a pour effet :

- Désorientation et fatigue
 - Les invertébrés nocturnes sont directement attirés par les flux lumineux, un lampadaire pouvant être perturbants jusqu'à 200 mètres.
- Pièges et mortalité
 - L'attraction réflexe vers la lumière piège les espèces sous les flux lumineux. Un véritable piège dont il est difficile de se sortir (voire impossible) tant que l'appareil est en fonction. Les pièges entraînent une sur-fatigue des espèces, piège dans les vasques des lampadaires (qui protègent l'ampoule) et peuvent se griller sur les ampoules trop chaudes (ou se faire percuter par un véhicule).
- Barrières écologiques
 - En considérant cela et qu'en moyenne les lampadaires sont espacés de 30 à 50 mètres, une rue éclairée devient une barrière infranchissable
- Surmortalité par prédation
 - L'attraction et le piégeage des insectes sous les flux lumineux entraîne une modification des liens proie/prédateurs et une surmortalité des insectes (chauve-souris, araignées...)
- Succès reproducteurs
 - Influence des succès reproducteurs des invertébrés en présence de flux directs

Les enjeux :

Une seule espèce diurne a été inventoriée : un paon du jour (lépidoptère), une espèce commune

Une seule espèce nocturne identifiée : ver luisant, espèce commune

Observations : très peu d'insectes volants, quelques papillons, moustiques et mouches sont toutefois à considérer pour leur rôle au sein de l'écosystème.

Incidentes notables du projet :

Toute mise en lumière va avoir un impact sur les invertébrés. Le projet pourra notamment devenir :

- Piège supplémentaire d'insectes volants entraînant une surmortalité des espèces
- Barrières écologiques pour les invertébrés limitant les déplacements
- Sur-prédation et compétition interspécifique accrue sous les flux lumineux directs
- Atteintes à la chaîne trophique et déséquilibres des écosystèmes

Les enjeux sont contrastés notamment à cause d'une pollution lumineuse déjà prépondérante :

- **L'impact est classé de modéré**

Chiroptères :

Même si aucun individu n'a été observé, il est nécessaire de bien prendre en compte la question des chauves-souris. Cela se confirme, avec la présence de plusieurs espèces inventoriées près de l'aéroport CDG, lors d'inventaire.

Les chiroptères, espèces nocturnes, sont particulièrement affectés 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 ne soient pas touchés. 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 physiologie des juvéniles (plus petits lorsqu'ils occupent des bâtiments éclairés et retard de croissance)
- Effet de barrière visuelle
 - Fragmentation des paysages nocturnes
- Effet sur de sur 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 rare)

Les enjeux :

Le site ne présente pas d'habitat favorable pour les chiroptères. L'obscurité actuelle est déjà fortement dégradée rendant complexe le cycle de vie des principales espèces (grand rhinolophe, murin de Brandt...). Cependant d'après plusieurs inventaires réalisés à l'aéroport de Roissy, 21 espèces ont été inventoriées. Il n'est pas impossible que les alentours puissent être un terrain de chasse.

Incidences notables du projet :

Il est possible que certains individus, notamment les plus adaptés à la lumière, puissent venir se nourrir près des futurs éclairages, modifiant le rôle proie/prédateur de l'écosystème local du aux flux direct. Le halo lumineux ne connaîtra pas une modification trop importante pour être un enjeu.

- **L'impact est classé faible**

Mammifères terrestres (hors chiroptères) :

Le site peut potentiellement présenter des habitats caractéristiques des zones de cultures (mulot des champs (Apodemus), chevreuil...), ainsi que des corridors écologiques favorables aux déplacements des espèces au sein des haies et de la zone de jachère le long de la Francilienne.

Beaucoup d'espèces de mammifères terrestres manifestent une répulsion vis-à-vis de la lumière (phototaxie positive), 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.

Les effets de la pollution lumineuse ont pour conséquences :

- Barrière écologique
 - La lumière agit comme barrière écologique et limite la cohérence des écosystèmes (suppression des corridors écologiques), les espèces ne peuvent plus se déplacer et migrer
- Baisse de l'activité de nutrition
 - Les mammifères (petits et micromammifères notamment) montrent une activité particulièrement réduite sous les flux lumineux proches et dans des zones avec des halos lumineux intenses
- Confinement dans des espaces sans lumière
 - La fuite de la lumière entraîne un confinement des espèces dans des espaces de plus en plus restreints entraînant surpopulation (et soupçonnent même des problèmes génétiques)
- Sur-prédation
 - En présence de lumière de nombreuses espèces se trouvent exposées à la prédation, ainsi le confinement pousse les espèces opportunistes à chasser qu'en présence de lumière (exemple des phoques veaux-marins agglutinés sous les plages éclairées pour attraper les saumons juvéniles attirés par la lumière)

Les enjeux :

Présences d'habitats potentiellement favorables notamment les haies, ilots laissés en jachère ainsi que la bande le long de la Francilienne et les cultures.

Incidences notables du projet :

Les zones qui présentent un habitat favorable ne devraient pas recevoir de flux lumineux directs. La luminosité pourrait augmenter légèrement pour quelques mètres de la bande enherbée le long de l'autoroute faisant fuir les espèces.

- **L'impact est classé faible**

Les autres taxons

- Amphibiens : non concerné
- Reptiles : l'impact de la pollution lumineuse sur les reptiles est très mal connu, il fait actuellement l'objet de recherches mais on ne peut aujourd'hui exprimer un impact.
- Invertébrés aquatiques : non concerné
- Poissons : non concerné

- Flore : aucun impact (champs cultivé)

b. Étude d'impact sur les cohérences écologiques

L'analyse des cohérences écologiques s'appuie sur le concept de trame verte et bleue, à laquelle s'ajoute la notion de lumière et d'obscurité conceptualisé sous le terme de trame noire.

Rappels sur la trame verte et bleue :

La Trame Verte et Bleue (TVB) est un outil d'aménagement issu du Grenelle de l'environnement. Il vise à **augmenter la part des milieux naturels** et semi-naturels dans la répartition des modes d'occupation du territoire, à **améliorer leur qualité écologique et leur diversité, et à augmenter leur connectivité** pour permettre la circulation des espèces qu'ils hébergent, nécessaire à leur cycle de vie.

La TVB permet de définir :

Les **continuités écologiques**, c'est-à-dire des espaces au sein desquels peuvent se déplacer un certain nombre d'espèces. Il s'agit d'un ensemble de milieux plus ou moins favorables à ces espèces, comprenant à la fois les habitats indispensables à la réalisation de leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos, etc.) et des espaces intermédiaires, moins attractifs mais accessibles et ne présentant pas d'obstacle infranchissable. Les continuités écologiques sont définies comme l'association de réservoirs de biodiversité et de corridors écologiques.

Les **réservoirs de biodiversité** sont des espaces caractérisés par une biodiversité remarquable par rapport au reste du territoire. Ils remplissent une grande partie des besoins des espèces considérées et constituent leurs milieux de vie principaux. Ils jouent un rôle crucial dans la dynamique des populations de faune et de flore : ces espaces permettent le développement et le maintien des populations présentes, ils « fournissent » des individus susceptibles de migrer vers l'extérieur et de coloniser d'autres sites favorables, et peuvent servir de refuge pour des populations forcées de quitter un milieu dégradé ou détruit. La pérennité des populations est fortement dépendante de leur effectif (elle-même limitée entre autres par la taille des réservoirs) et des échanges génétiques entre réservoirs. Pour toutes ces raisons, les réservoirs de biodiversité doivent fonctionner sous la forme d'un réseau, entre lesquels des individus peuvent se déplacer.

Les **corridors écologiques** sont des espaces reliant les réservoirs, plus favorables au déplacement des espèces que la matrice environnante. Les milieux qui les composent ne sont pas nécessairement homogènes, continus, ni activement recherchés par les espèces qui les traversent. La qualité principale qui détermine leur rôle de corridor, pour une espèce donnée, est la capacité des individus à les traverser pour relier deux réservoirs, avec un effort de déplacement minimal et une chance de survie maximale. On parle de perméabilité des espaces, ou au contraire de résistance, pour décrire la facilité avec laquelle ils sont parcourus.

La trame noire : Intimement liée à la trame verte et bleue, la trame noire est aussi un enjeu majeur dans les continuités écologiques. Ce concept vise à intégrer la lumière comme élément fragmentant la cohérence des écosystèmes. Le phénomène se traduit par le fait que la lumière artificielle va devenir un obstacle aux différentes migrations des espèces au cours de la nuit coupant les corridors écologiques. Que ce soit par phototaxie positive ou négative, les concentrations lumineuses vont devenir infranchissables, limitant drastiquement les migrations (journalières, saisonnières). L'ensemble du

monde animalier, diurne comme nocturne, est impacté. La lumière artificielle va ainsi mettre une limite importante dans la cohérence des écosystèmes.

Les cohérences écologiques sur le projet :

L'étude d'impact s'appuie sur le Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE). Le SRCE correspond à l'échelle régionale de la politique TVB (trames vertes et bleues). Élaboré conjointement par l'État et le conseil régional, en association avec un comité régional TVB, il traduit les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques, à travers un diagnostic du territoire comprenant notamment la cartographie des réservoirs et corridors de biodiversité existants ou à restaurer, et un plan d'actions à mettre en œuvre par les plans et programmes de rang inférieur.

- Le SRCE de la région Île de France a été adopté par arrêté du Préfet de région en 2013

Carte des cohérences écologiques sur le projet :



Figure 19 : Trame verte et bleue

Le futur projet est concerné par un corridor à fonctionnalité réduite des prairies, friches et dépendances vertes qui composent la sous-trame herbacée.

La définition des sous-trames s'appuie en premier lieu sur une analyse fine de l'occupation des sols ce qui permet d'identifier des habitats potentiels. Les réservoirs de biodiversité des sous-trames ainsi que les corridors correspondants sont définis par l'attractivité des habitats pour une guildes d'espèces sélectionnées et représentatives du milieu.

Deux types de corridors ont été distingués, d'une part pour les espèces généralistes des prairies, friches et dépendances vertes des infrastructures, d'autre part pour les espèces plus spécialisées des pelouses sur sol calcaire. Les corridors des espèces ont été composés en synthétisant les données obtenues pour :

- Les petits mammifères des formations herbacées des prairies, friches, parcs et jardins. Les espèces choisies (Hérisson d'Europe...) sont capables de fréquenter une large gamme d'habitats

naturels ou anthropiques. Elles sont cependant souvent plus rares dans les habitats humides ou très secs ;

- Les reptiles des pelouses et autres milieux herbacés secs, acides ou calcaires (lézards, Coronelle lisse). Ces espèces fréquentent des milieux généralement plus secs et plus spécialisés que les précédents, y compris les pelouses calcaires ou les landes acides ;
- Les insectes des friches et milieux herbacés secs. Ces espèces fréquentent les mêmes habitats que le groupe précédent, mais leur mode de déplacement différent permet de compléter les corridors.

Les espèces retenues pour la définition de la sous-trame herbacée :

<p>Petits mammifères des formations herbacées des friches, parcs et jardins : Hérisson d'Europe</p>
<p>Reptiles des pelouses et autres milieux herbacés secs : Coronelle lisse, lézards</p>
<p>Insectes des friches et milieux herbacés secs : Hespérie de l'alcée (<i>Carcharodus alceae</i>), Machaon (<i>Papilio machaon</i>), Paon de jour (<i>Inachis io</i>), Vulcain (<i>Vanessa atalanta</i>), Azuré de la Bugrane (<i>Polyommatus icarus</i>)</p>

Tableau 3 : espèces représentative de la sous-trame herbacée

Les corridors à fonctionnalité réduite ne sont exploitables que par les espèces les moins exigeantes, généralement à déplacement aérien. Cette situation a été retenue pour des corridors avec des passages importants en ville, ou traversant longuement des zones agricoles ou des boisements.

Incidences notables du projet :

Concernant la cohérence écologique des écosystèmes, le projet présente un enjeu pour la cohérence au sein des prairies, friches et dépendances vertes. Sa mise en lumière pourra avoir un effet notamment sur les déplacements des petits mammifères des formations herbacées et sur les insectes des friches et milieux herbacés. La présence du Paon du Jour, observé dans les inventaires fournis, confirme la potentialité du corridor.

Il s'agit toutefois d'un corridor à fonctionnalité réduite, déjà exploitable seulement par les espèces les moins exigeantes, à laquelle s'ajoute l'absence de la notion d'espèces nocturnes dans les études SRCE. Dans ce sens, la mise en lumière pourra avoir un impact certain, mais n'engendrera pas un impact irréversible par rapport à l'état actuel, notamment car ce corridor a été identifié avec la maison d'arrêt actuelle.

- **L'impact retenu est classé de faible**

c. Synthèse des incidences notables du projet

Thématiques	Impacts
Avifaune	Modéré <ul style="list-style-type: none"> • Recul des nids • Perte de nidification • Possible atteinte à la migration générale
Invertébrés	Modéré <ul style="list-style-type: none"> • Attirance et piège des insectes sous lampadaires (épuisement) • Brulure sur les ampoules • Exposition aux prédateurs (surmortalité)
Chiroptères	Faible <ul style="list-style-type: none"> • Déséquilibre de la relation proie/prédateur
Mammifères (hors chiroptères)	Faible <ul style="list-style-type: none"> • Fuite des espèces à proximité du projet • Fuite des espèces dans le talus enherbé le long de l'autoroute
Cohérences écologiques	Faible <ul style="list-style-type: none"> • Possible atteinte au corridor pour les espèces nocturnes

V.2. Les impacts sur l'humain

d. Habitations et riverains

Localisation des habitations riveraines :

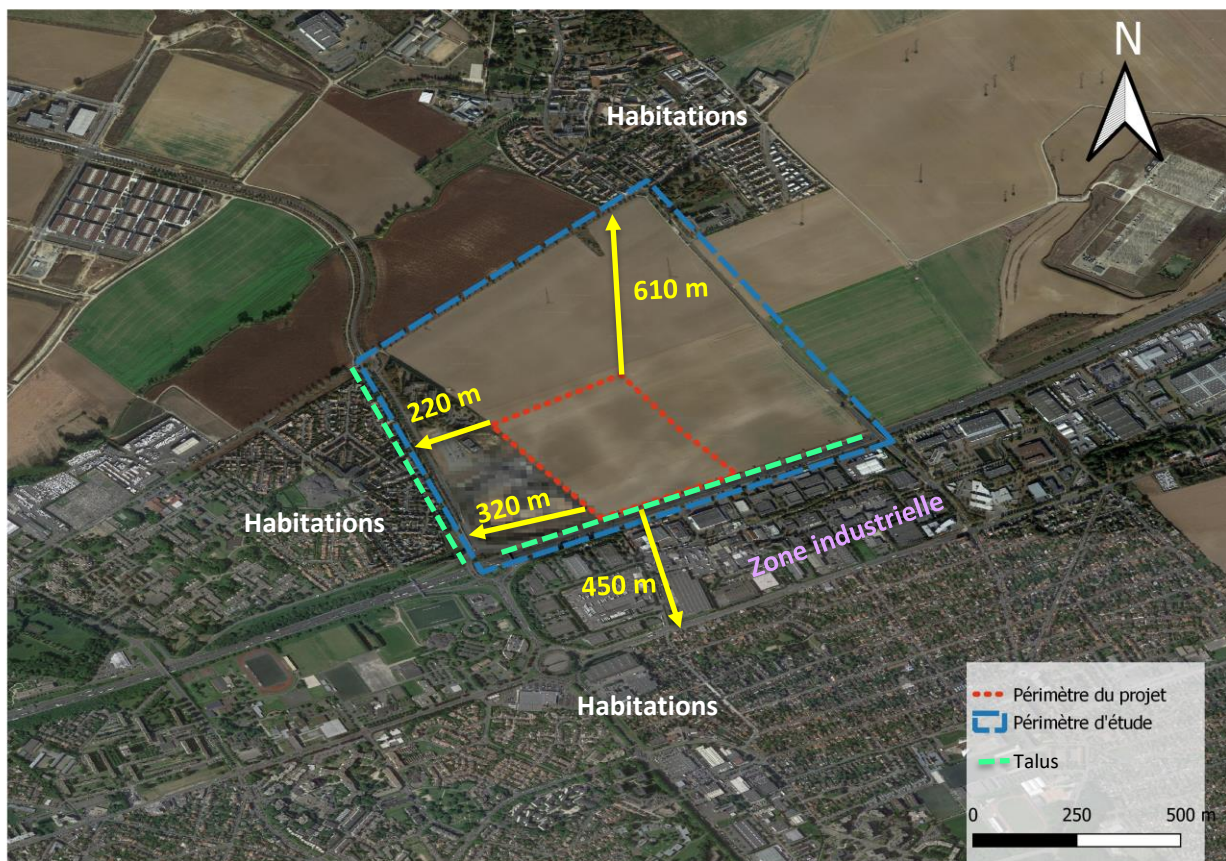


Figure 20 : localisation des premières habitations

Les habitations riveraines les plus proches se situent à l'ouest du périmètre du projet, à 220 mètres de distance. Ces habitations sont protégées des flux lumineux par la présence d'un talus. Les habitations au sud, se situent à 450 mètres du projet et sont aussi protégées par un talus qui sépare le champ cultivé de l'autoroute.

Les habitations au nord seront les seules possiblement exposées, cependant celle-ci se situent à plus de 600 mètres du futur projet. Les flux lumineux du projet ne représentent aucun enjeu pour ces habitations.

- Impact nul retenu

e. Personnel et détenus

Concernant le personnel et les détenus, la présence de lumière est obligatoire pour assurer le travail des agents. Un bon éclairage est nécessaire pour limiter la fatigue visuelle et assurer de bonnes conditions de travail en période nocturne. Un bon éclairage permet d'assurer la bonne surveillance et les déplacements. A l'heure actuelle, les types de sources ne sont pas encore définies et l'étude est établie

sur les exigences réglementaires devant permettre la bonne réalisation du travail. Ainsi le projet ne dispose pas d'impact négatif pour le personnel.

Comme pour les habitations, en ce qui concerne les détenus, la lumière parasite dans les chambres peut jouer un rôle sur l'horloge biologique et la sécrétion d'hormones et le bien-être. Cependant l'éclairage des façades est une exigence réglementaire au sein des maisons d'arrêt. Les caractéristiques techniques des éclairages n'étant pas encore définies, le projet n'inclut pas d'impacts négatifs pour les détenus.

Dans le sens où les caractéristiques techniques de l'éclairage ne sont pas encore définies à cette étape de l'étude, l'impact ne peut pas être caractérisé. Cependant, les préconisations et les recommandations tiendront compte de la santé du personnel et des détenus en incluant les bonnes conditions de travail.

- **Impact non caractérisable**

V.3. Hiérarchisation des impacts du projet et mesures correctrices

a. Notion d'impacts en pollution lumineuse

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. Dans cette étude d'impact, 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).

La caractérisation des impacts environnementaux se fait en deux étapes :

- Les impacts bruts : il s'agit des impacts du projet sans les mesures correctrices définies
- Les impacts résiduels : qui caractérisent les impacts qui prennent en compte mesures d'évitements/réduction/compensation (doctrine ERC).

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 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 (disparition probables d'espèces en danger)	Le projet aura un effet dangereux et irréversible sur l'ensemble de la population sur le projet

Tableau 4 : échelle d'impacts

Vu qu'aucune extinction n'est possible, l'ensemble des impacts sont considérés comme permanents.

b. Synthèse des impact du projet

Impacts volet écologique :

THÉMATIQUES	ENJEUX DE POLLUTION LUMINEUSE	ENJEUX SUR LE PÉRIMÈTRE	IMPACTS RETENUS DU PROJET
TAXONS			
Avifaune	Enjeux fort	Enjeux modérés	Impact modéré
Invertébrés	Enjeux très fort	Enjeux faibles	Impact modéré
Chiroptères	Enjeux fort	Enjeux faibles	Impact faible
Mammifères (hors chiroptère)	Enjeux fort	Enjeux faibles	Impact faible
AUTRES TAXONS	Nul		
COHÉRENCES ÉCOLOGIQUES	Enjeux fort	Enjeux faible	Impact faible

Tableau 5 : synthèse des impacts écologiques

Impacts volet humain

THÉMATIQUES	ENJEUX DE POLLUTION LUMINEUSE	ENJEUX SUR LE PÉRIMÈTRE	IMPACTS RETENUS DU PROJET
HABITATIONS RIVERAINES	Modéré	Aucun	Nul
PERSONNEL DÉTENU ET	Modéré	Enjeu modéré	Non caractérisable

Tableau 6 : synthèse des impacts humains

Globalement l'impact du projet est faible à modéré.

C'est notamment l'implantation de flux directs qui seront la source d'impacts modérés sur les insectes et sur l'avifaune. Ils ne mettront pas en danger les populations de mammifères et de chiroptères et porteront un préjudice peu significatif sur les continuités écologiques, notamment du fait que le corridor identifié passe déjà par l'établissement actuel.

L'ambiance lumineuse globale du projet contribuera à renforcer légèrement le halo lumineux global mesuré à l'état initial, mais celui-ci étant déjà fortement dégradé, le projet n'aura pas un impact irréversible sur le territoire.

c. Les mesures correctrices

Concernant les mesures correctrices elles sont établies avec les réflexions actuelles qui interviennent particulièrement en amont du projet et ne concernent donc pas les techniques d'éclairages précises pour limiter les impacts car les dispositifs ne sont pas encore définis. Cependant de manière globale il est nécessaire de :

- Limiter au maximum la diffusion de lumière en direction du ciel et dans l'environnement proche par une bonne maîtrise des flux
- Limiter l'utilisation de lumière bleue, plus impactante pour l'Homme et la biodiversité et renforçant l'intensité du halo lumineux
- Viser une sobriété lumineuse en répondant de manière précise aux besoins et se restreindre au nécessaire
- Utiliser des éclairages performants peu consommateurs pour limiter le gaspillage d'énergie
- Réaliser des extinctions ou des abaissements de puissance là où c'est possible en tenant compte des exigences (sur le parking par exemple)
- Bien tenir compte de l'environnement proche lors de la mise en lumière et notamment des habitats présents. Même s'ils sont rares, il sera nécessaire de limiter l'éclairage de haies, zones de jachères, champs de blé

Voici quelques mesures adaptées aux enjeux pour limiter les impacts du projet :

Thématiques	Impact	Mesures d'évitement	Réduction	Impact résiduels
Avifaune	Modéré <ul style="list-style-type: none"> Recul des nids Perte de nidification Migration 	Installer une haie (avec des essences locales) pour limiter les flux en direction du champs cultivé	Utiliser des éclairages avec des tons chauds pour limiter les possibles impacts sur la migrations générales des oiseaux	Impact quasi nul
Invertébrés	Modéré <ul style="list-style-type: none"> Attrance et piège des insectes sous lampadaires (épuisement) Brulure sur les ampoules Exposition aux prédateurs (surmortalité) 	Utiliser un verre de protection autour des ampoules (hors led). Lampadaire avec un indice de protection (IP) supérieur à 65	Utiliser des éclairages au ton chaud ($\leq 3000^{\circ}\text{K}$)	Impact faible
Chiroptères	Faible <ul style="list-style-type: none"> Déséquilibre de la relation proie/prédateur 	Installer une haie pour limiter l'éclairage du talus enherbé	Utiliser des éclairages au ton chaud ($\leq 3000^{\circ}\text{K}$) pour limiter l'attrance d'insectes	Impact faible
Mammifères (hors chiroptères)	Faible <ul style="list-style-type: none"> Fuite des espèces à proximité du projet Fuite des espèces dans le talus enherbé le long de l'autoroute 			Impact nul
Cohérences écologiques	Faible <ul style="list-style-type: none"> Coupure du corridor pour les espèces nocturne 	Encadrer le projet par des haies (avec des essences locales) pour limiter la diffusion de lumière dans l'environnement du corridor	<p>Limiter l'utilisation de couleur de lumière attirante (bleu, vert, rouge)</p> <p>Limiter la diffusion de lumière dans les habitats</p>	Impact quasi nul

Tableau 7 : mesures correctrices

La particularité du projet vient des exigences de sécurité nécessaires au milieu carcéral. Toutes mesures pouvant permettre de concentrer la lumière à l'intérieur de l'enceinte peuvent être appliquées pour réduire au maximum les impacts de la pollution lumineuse sur le territoire.

La construction d'une haie autour du périmètre du projet devrait permettre de limiter drastiquement les impacts pour de nombreuses espèces. En plus, les haies sont des espaces très intéressants pour les continuités écologiques et les déplacements de nombreuses espèces, pas uniquement favorable à la biodiversité nocturne. Ces haies devront être plantées avec des espèces locales pour favoriser leur intégration dans le milieu et renforcer leur fonctionnalité écologique.

Concernant les autres mesures, il s'agit de mesures techniques sur l'éclairage. Ces mesures ne peuvent pas supprimer complètement l'impact mais rendre le projet nettement moins nocif pour l'environnement nocturne.

En appliquant ces mesures correctrices, l'impact du projet sera particulièrement faible.

VI. Préconisations et recommandations d'éclairage

Le concept de la pollution lumineuse tient du fait que la production de lumière artificielle la nuit génère un certain nombre de nuisances en altérant l'obscurité naturelle, impactant l'ensemble de la vie nocturne. S'il faut se féliciter de la sécurité accrue qui résulte de l'éclairage, ainsi que de tout ce que la lumière peut apporter au niveau esthétique, l'éclairage est accompagné d'une grande diversité d'impacts sur l'environnement, sur la santé de l'Homme et sur le gaspillage énergétique. La lumière est aujourd'hui omniprésente et grandissante sur le territoire. Pourtant, réduire la pollution lumineuse n'est pas si difficile, et un éclairage raisonné et réfléchi peut permettre d'améliorer la qualité de nos nuits.

Il est donc nécessaire de suivre les préconisations suivantes dans le cadre de la mise en lumière du projet. Il faut éclairer mieux pour :

- Économiser de l'énergie ;
- Protéger la biodiversité ;
- Garantir une meilleure qualité de vie ;
- Préserver le ciel nocturne.

Il est essentiel d'avoir une réflexion sur l'utilité de chaque point lumineux prévu pour ne pas contribuer inutilement au gaspillage énergétique et à la pollution lumineuse.

Pour l'éclairage du projet étudié, la marge de manœuvre est assez faible face aux différentes exigences réglementaires. Les préconisations émises balayent l'ensemble des possibles problématiques que peut engendrer le futur projet afin de limiter la production d'impacts de pollution lumineuse. Vu que le projet nécessite un éclairage minimum à maintenir tout au long de la nuit, les préconisations s'orientent donc sur des solutions techniques plutôt que de gestion.

a. Maîtriser les flux

La maîtrise des flux sur le projet va permettre de réduire d'une part les lumières parasites alimentant le halo lumineux et d'autres part les impacts des flux directs.

Des flux en direction du sol

L'objectif est de limiter la diffusion des flux en direction de l'atmosphère au sein du projet. Pour cela, il est nécessaire de préférer des éclairages avec un flux qui diffuse de la lumière uniquement en dessous de l'horizontale.

Il est impératif de :

- Éclairer les façades depuis le haut vers le bas
- Installer des lampadaires avec une orientation à 0°

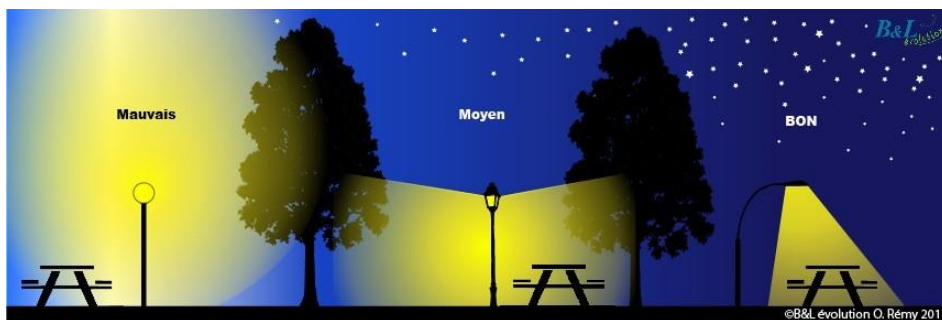
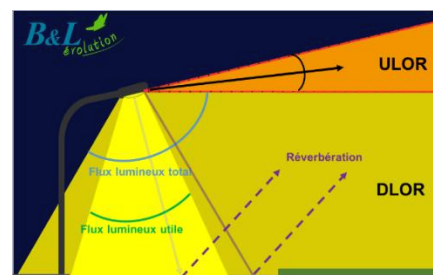


Figure 21 : maîtrise des flux

ULOR

Il est impératif de ne pas éclairer en direction du ciel, que la lumière émise ne dépasse pas l'horizontale (orientée à 0°) et d'utiliser des lampadaires avec un ULOR à 0 %. Ce ratio est présent sur chaque fiche descriptive de tout lampadaire. Il exprime (en %) la fraction de flux émis vers le ciel par la source lumineuse (angle de flux total perdu par immixtion). Pour cela, il faut que le lampadaire soit muni d'un capot et que l'ampoule soit ancrée dans ce capot (elle ne doit pas être visible).

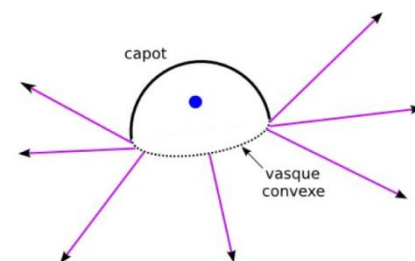


Vasque

Pour éviter l'immixtion de lumière en direction de l'environnement, le choix des vasques liées au lampadaire est essentiel. Il est important de privilégier une vasque de forme concave et non convexe. Une vasque convexe va être à l'origine de l'émission de lumière en direction du ciel et génératrice de pollution lumineuse. De plus, il se crée un amas de poussière au cours du temps ce qui va réduire le rendement lumineux.

Certaines marques proposent des vasques concaves qui peuvent être autonettoyantes, donc ne présentant aucune perte de rendement lumineux au cours de la vie du lampadaire.

Avec les nouvelles technologies LED, les vasques convexes disparaissent



Source : Careel,

Couleur des sols :

Une réflexion peut aussi être portée sur la composition du sol. Les sols urbanisés doivent être les plus sombres possibles pour limiter la réflexion de lumière en direction du ciel.

Un travail sur la couleur des sols à l'intérieur de l'enceinte bâtie pourra être entrepris pour limiter la diffusion de lumière vers le ciel

Tableau 8 : maîtriser les flux

Des flux concentrés vers le projet

Pour limiter les flux directs qui pourraient avoir un impact sur l'environnement local, il est important que les flux lumineux soient orientés en direction du projet et n'éclairent que les zones qui en ont besoin et limiter au maximum les flux en direction du champs cultivé et des abords ou les habitats.



Figure 22 : orientation des flux

Matériel à utiliser

- Lampadaires extérieurs avec ULOR = 0 %
- Vasques de lampadaires concaves
- Éclairer uniquement en direction du sol
- Éviter les lampadaires type boule, lanterne, spot qui éclairent en direction du ciel
- Éclairer les façades depuis le haut vers le bas
- Utiliser des sols sombres

b. Gérer les périodes nocturnes

Cette étape consiste à réfléchir aux périodes d'éclairage. En particulier, si la fréquentation s'interrompt au cours de la nuit il n'est pas nécessaire d'éclairer durant toute la période. Les nouvelles technologies permettent de définir des temps d'éclairage adaptés aux besoins.

S'il n'y a pas de besoins particuliers il faut aller au-delà et penser à réaliser des extinctions. Toutes les lampes éteintes ne consomment pas et ne produisent pas de pollution lumineuse, un geste simple est la meilleure des solutions pour éviter la pollution lumineuse et faire de véritables économies. **Cela est difficilement applicable aux points lumineux au sein de l'enceinte mais une réflexion peut être portée sur les parkings et habitats externes**

Matériel à utiliser :

- **Horloges astronomiques** (indispensable) : dispositif déclencheur de l'éclairage en fonction du rythme solaire, cet appareil situé dans les armoires électriques ne déclenche plus l'éclairage en fonction de la luminosité mais en fonction des heures du coucher et du lever du soleil.
- **Capteur de présence** : permet l'éclairage en fonction de mouvements à proximité du lampadaire

c. Adapter l'intensité aux véritables besoins

La puissance utilisée est aussi un élément important dans le choix de l'éclairage. Une puissance trop élevée est à l'origine de pollution lumineuse et surtout d'un gaspillage énergétique. Il est important de mettre en place des puissances adaptées aux véritables besoins, de réfléchir au rendement lumineux (rapport entre le flux lumineux et la puissance utilisée) pour avoir un éclairage de qualité.

Rendements lumineux :

- Bougie = 0 à 1 lumen/Watt
- LED = 40 à 100 lumens/Watt
- Sodium Haute Pression = 80 à 200 lumens/Watt
- Sodium Basse Pression = 180 à 200 lumens/Watt
- Lampe Fluo-Compacte = 40 à 110 lumens/Watt
- Néon = 30 à 50 lumens/Watt
- Vapeur de Mercure = 50 à 70 lumens/Watt

Il n'est souvent pas nécessaire d'avoir un éclairage uniforme de la tombée de la nuit jusqu'au lever du soleil. Des outils permettent de baisser l'intensité lumineuse au cours de l'éclairage afin de faire des économies et de réduire les impacts sur l'environnement. Ce sont des variateurs de puissance. Ils offrent un temps de préchauffe avant l'éclairage des lampes prolongeant la vie de l'ampoule d'environ 30 %, stabilisant la tension du réseau EDF (5 % de consommation en moins) et réduisent la puissance de 40 %.

La source doit être équipée d'un ballast électronique afin d'améliorer la qualité de la mise en route de l'éclairage et d'éviter les clignotements au cours des baisses de tension.

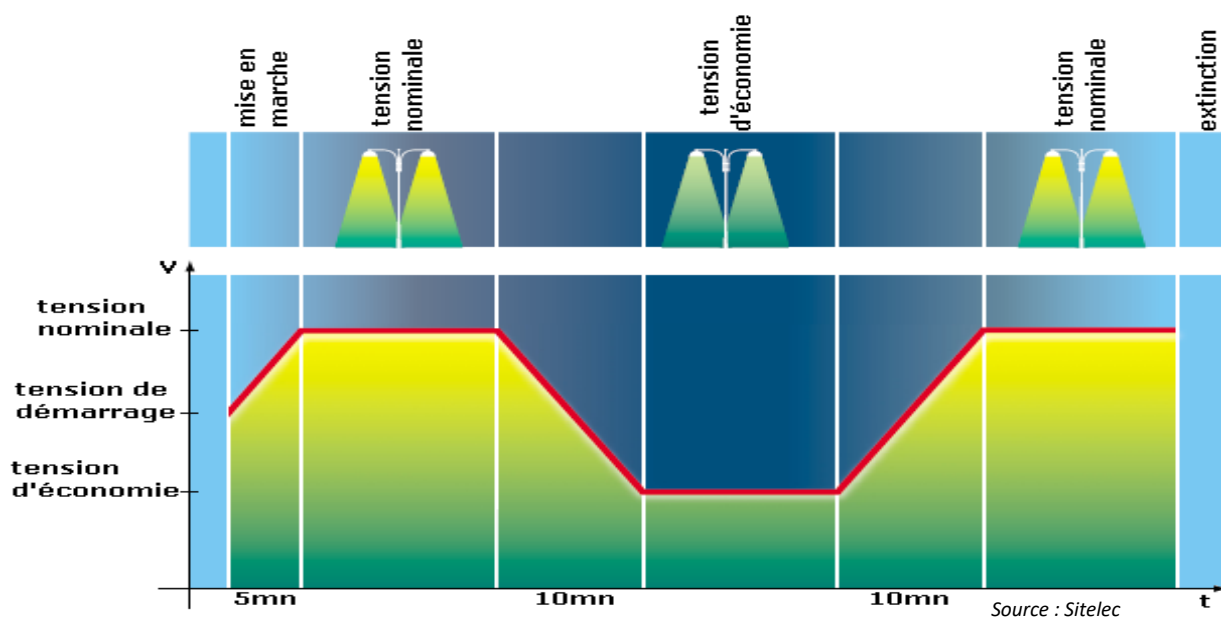


Figure 24 : baisse d'intensité au cours de la nuit

Si l'extinction ne peut être envisageable, un abaissement des tensions au cours de la période nocturne pourrait être une solution pour permettre de limiter la production de pollution lumineuse. Dans la limite des besoins réglementaire, un abaissement de la tension va engendrer une réduction de l'intensité lumineuse pour ainsi faire des économies et réduire les impacts.

Matériel à utiliser :

- **Variateur de tension** : permet de réduire la puissance d'une lampe au cours de la nuit (pas adapté à tous types d'ampoules).
- **Ballast électronique** : permet d'améliorer la qualité énergétique d'une ampoule.
- Bien choisir le type d'ampoule pour offrir le meilleur rendement lumineux et faire des économies.

d. Choisir les ampoules

Les spectres lumineux sont totalement différents entre les ampoules. Le spectre est défini en fonction de la quantité des longueurs d'ondes au sein d'une source. Parmi la gamme des ampoules les plus courantes du marché, au vu de leur spectre, il est préférable d'utiliser des lumières présentant le moins possible de lumière bleue.

Il est donc préférable de maintenir les Sodium Haute pression là où elles sont déjà installées. Dans le cadre de rénovation et pour l'installation des futurs éclairages du projet, il est préférable d'utiliser des LED avec la température de couleur la plus faible possible voir utiliser de nouvelles technologies comme les LED ambrées (ou batlamp) qui permettent de limiter drastiquement les impacts des flux lumineux sur la biodiversité.

Les spectres des ampoules du marché :

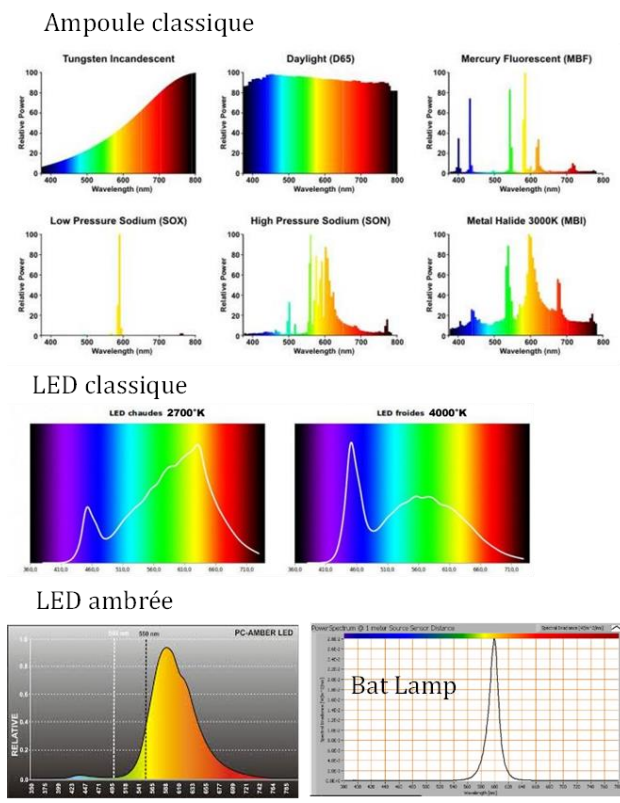


Figure 25 : Les spectres des ampoules sur le marché de l'éclairage public

Concernant le projet, il est nécessaire d'adapter les températures de couleur par rapport aux enjeux et aux taxes.

Le niveau d'enjeu est établi à partir du nombre de types d'impacts biologiques par plage de longueurs d'ondes pour chaque groupe biologique d'après *Munster et al.* (Voir biblio) Faible = 1 type d'impact, modéré = 2 types d'impacts, fort = 3, très forts = 4.

Le tableau des couleurs les plus impactantes par taxons :

Taxons	Ultraviolet (<380nm)	Violet (380-450nm)	Bleu (450-500nm)	Vert (500-550nm)	Jaune (550-600nm)	Orange (600 - 650nm)	Rouge (650-750nm)	Infrarouge (>750nm)
	Avifaune	Modéré	Faible	Très fort	Très fort	Modéré	Modéré	Fort
Chiroptères		Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	
Amphibiens	Faible	Fort	Fort	Fort	Modéré	Modéré	Faible	
Reptiles		Faible	Faible	Faible	Faible			
Invertébrés	Fort	Faible	Très fort	Fort	Modéré	Modéré	Modéré	
Mammifères	Faible	Faible	Modéré		Fort	Fort	Modéré	Faible
Poissons et invertébrés aquatiques			Très fort	Modéré	Faible		Fort	
Flore	Faible	Faible	Faible	Faible			Modéré	Très fort

Tableau 9 : enjeux biodiversité et couleur des flux

L'étude d'impact sur le projet montre des enjeux pour l'avifaune, les chiroptères, les invertébrés et les mammifères

Enjeux sur le projet	Couleur à éviter	Couleur à prioriser
Avifaune (impact modéré)	Rouge, bleu, vert	Violet, jaune, orange
Chiroptère (impact faible)	Toute	Toute
Invertébrés (impact faible à modéré)	Bleu, vert, UV	Vert, rouge, jaune, orange
Mammifères (impact faible)	Jaune, orange	Violet, vert, infrarouge

Tableau 10 : les ampoules à installer sur le projet

Il est donc nécessaire de prioriser des éclairages jaunes, oranges et surtout limiter drastiquement la part de bleu dans les flux lumineux.

Pour cela, nous conseillons d'utiliser :

- LED à 2700°K (3000°K maximum),
- LED ambrée

- Sodium Haute Pression (SHP)
- Ou des Batlamp (ampoules actuellement peu répandues sur le marchés)

e. Autres paramètres techniques d'éclairage

Voici quelques conseils supplémentaires pour limiter les impacts du projet :

- Utiliser des éclairages avec un indice de protection élevé (IP) supérieur ou égal à 65 (protégé contre les poussières et protection contre l'eau). Ces matériels se montrent hermétiques, épargnant de nombreuses espèces
- Limiter la hauteur des éclairages autant que possible : en limitant la hauteur des lampadaires, l'éclairage moyen nécessaire demande moins de puissance. Hauteur de référence de 6 mètres (hauteur de l'enceinte bâtie)
- Favoriser des systèmes passifs lorsque c'est possible. En utilisant des systèmes rétro réfléchissant il est possible de limiter le nombre de points lumineux (ou facilitant l'extinction de certains). Par exemple, certains points lumineux du parkings peuvent être supprimés ou éteints avec la présence de bandes réfléchissantes au sol, ou de catadioptrés sur les barrières, trottoirs etc.

VI.1. Synthèse des préconisations et recommandations

Orientation des flux	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ULOR = 0% ➤ Éclairer les façades depuis le haut vers le bas ➤ Concentrer les flux en direction de l'intérieur du projet ➤ "Préférer des couleurs de sols sombres
Gestion des périodes	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Réaliser des extinctions là où c'est possible ➤ Utiliser des horloges astronomiques ➤ Utiliser des capteurs de présences
Adapter l'intensité	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Baisser l'intensité au cours de la nuit avec des variateurs de tension ➤ Ne pas dépasser 6 mètres de hauteur des points lumineux
Choix des ampoules	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Préférer des flux lumineux dans le jaune orange : LED 2700K
Autres paramètres	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utiliser des lampadaires avec un indice de protection de 6.5 ➤ Favoriser des systèmes passifs sur les zones voitures (parkings)

VII. Conclusion

L'état initial réalisé montre que le projet se situe dans un ciel particulièrement dégradé car il se trouve au sein du halo lumineux de l'agglomération parisienne. De nombreux éclairages encerclent actuellement l'ensemble du périmètre d'étude.

L'analyse écologique et du volet humain a montré que les enjeux sont faibles voire inexistants sur le périmètre du projet. Concernant les enjeux écologiques, quelques espèces sont présentes, notamment des oiseaux et des insectes, et des habitats constitués par un champs de blé et des espaces en friches qui peuvent être favorables aux espèces et à leurs déplacements.

Cette étude intervient particulièrement en amont du projet, où le détail et les appareillages ne sont pas encore définis. Dans ce sens l'étude prédictive de la pollution lumineuse s'est appuyée uniquement sur les exigences réglementaires d'éclairages nécessaires selon les différentes zones de l'enceinte de la future maison d'arrêt. Ce travail a donc été réalisé d'une part sur les éclairements possibles au sol et la modélisation des résultats attendus. Cette modélisation prédictive se fonde sur des données théoriques.

D'après cette modélisation prédictive, le projet devrait accentuer légèrement l'intensité locale du halo lumineux et réduire les zones les plus obscures sur l'ensemble du périmètre d'étude. Cependant, le ciel nocturne est déjà fortement dégradé par le halo lumineux de la région. De plus, les futurs éclairages auront une influence limitée à un périmètre proche du projet et ne porteront pas un préjudice direct sur les zones potentiellement favorables.

L'étude d'impact a permis d'approfondir les enjeux, notamment sur les potentielles espèces à une échelle spatiale plus large et sur les continuités écologiques identifiées depuis le Schéma Régional des Cohérences Écologiques d'Île-de-France. Ces enjeux ont été comparés avec l'éclairage et les résultats de la modélisation prédictive. L'impact du projet sur l'environnement nocturne est classé de faible à modéré, mais celui-ci ne devrait pas avoir un impact irréversible, notamment car l'environnement est déjà particulièrement dégradé par la pollution lumineuse déjà présente. C'est notamment sur la niche des oiseaux et l'attraction des insectes que peuvent porter le principal préjudice.

Dans ce sens, plusieurs mesures correctrices ont été émises, celle-ci se limitent aux connaissances actuelles. Avec la mise en place des mesures et une réflexion pour limiter l'impact du projet, l'impact atténué induit un projet avec un impact faible.

Enfin, plusieurs préconisations et recommandations sont construites pour être intégrées dans la définition future des éclairages. Pour le projet étudié, la marge de manœuvre est assez faible face aux différentes exigences réglementaires. Les préconisations émises balayent l'ensemble des possibles problématiques que peut engendrer le futur projet afin de limiter au maximum la production d'impacts de pollution lumineuse. L'éclairage devra maîtriser ses flux, une réflexion portée sur les périodes d'éclairages et leur intensité, et faire le choix d'ampoules adaptées à la biodiversité locale et favoriser des paramètres limitant les impacts.

VIII. Bibliographie

- Rapport SPN 2008/8, impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité, JP. Siblet, Pollution lumineuse : les impacts de la pollution lumineuse
- MEB et ANPCEN Juillet 2015 : éclairage du 21ème siècle et biodiversité : pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement
- SORDELLO R. (2017). Pollution lumineuse : longueurs d'ondes impactantes pour la biodiversité. Exploitation de la synthèse bibliographique de Musters et al. (2009). UMS 2006 Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN. Rapport Patrinat n°2017- 117.
- Möller, A., S. Sagasser, W. Wiltschko and B. Schierwater. 2004. *Retinal cryptochrome in a migratory passerine bird: a possible transducer for the avian magnetic compass.*
- BENNIE J., DAVIES W.T., CRUSE D., GASTON K.J., 2016, Ecological effects of artificial light at night on wild plants, *Journal of Ecology*, Vol. 104, n°3, pp. 611-620.
- BLISS-KETCHUM L.L., DE RIVERA C.E., TURNER B.C., WEISBAUM D.M., 2016, The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure, *Biological conservation*, Vol. 199, pp. 25-28,
- DOWNS N.C., BEATON V., GUEST J., POLANSKI J., ROBINSON S.L., 2003, The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*, *Biological conservation*, Vol. 111, pp. 247-252
- FFRENCH-CONSTANT R.H., SOMERS-YEATES R., BENNIE J., ECONOMOU T., HODGSON D., SPADLING A., MCGREGOR P.K., 2016, Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom, *Proceedings of the Royal Society*, Vol. 283, n°1833.
- RIGGS WR (2002) *Plant photoreceptors : proteins that perceive information vital for plant development from the light environment.* Part of the conference Ecological Consequences of Artificial Night Lighting.
- C. KYBA et al. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Sciences advances* 2017
- KNOP E., ZOLLERA L., RYSERA R., GERPEA C., HORLERA M., FONTAINE C., 2017, Artificial light at night as a new threat to pollination, *Nature*, Vol. 548, pp. 206-209.
- B&L évolution, 2017, 4 conseils pour bien utiliser la LED dans l'éclairage extérieur
- LEWANZIK D., Voigt C.C., 2014, Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk, *Journal of applied ecology*, Vol. 51, n°2, pp. 388-394.
- MINNAAR C., BOYLES J.G., MINAAR I.A., SOLE C.L., MCKECHNIE A.E., 2014, Stacking the odds: light pollution may shift the balance in an ancient predator–prey arms race, *Journal of applied ecology*, Vol. 52, n°2, pp. 522-531.
- PICCHI M.S., AVOLIO L., AZZANI A., BROMBIN O., CAMERINI G., 2013, Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin, *Journal of Insect Conservation*, Vol. 17, n°4, pp. 797-805.

- SORDELLO R., 2017, Pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques, *Vertigo*, Vol. 17, n°2. Novembre 2017.
- Agence Française de l'Éclairage, *Éclairages extérieurs, nuisances et halos lumineux*, 2010
- Dawkar VV, Jadhav UU, Jadhav MU, Kagalkar AN, Govindwar SP. *World J Microbiol Biotechnol* [2010]
- Annual report Dark-Sky Association,
- Jonathan Bennie, Thomas W. Davies, James P. Duffy, Richard Inger & Kevin J. Gaston, *Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights*, 2014