



Centre
Occitanie - Montpellier



INRAE



Densité Surfactive de Flux Lumineux Installé

Méthode de calcul

Mathieu Chailloux - Jennifer Amsallem - Ahmed Erraji

Janvier 2021

Avant-Propos

Ce document propose une méthode de calcul automatisable de la densité surfacique de flux lumineux installée (DSFLI) pour mettre en œuvre les prescriptions de [l'arrêté du 27 décembre 2018](#) relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses.

Nous remercions tous ceux qui nous ont accordé du temps dans le cadre de travail : Nathalie Commeau (MTES/DGPR), Pierre Brunet (FNE), Romain Sordello (UMS PatriNat), Samuel Busson, Paul Verny (CEREMA), Sébastien Vauclair, Philippe Deverchère (DarkSkyLab), Bruno Kablitz, Sophie Blard, Pascal Robert (SICECO), César Wayar (PNR Pyrénées Ariégeoises), Philippe Clavel, Nicolas Marsac, Marc Aparicio, Bruno Béguin (Montpellier Méditerranée Métropole).

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Centre de ressources Trame verte et bleue, piloté par le Ministère de la Transition Ecologique et l'Office français de la biodiversité.

Contacts

Mathieu Chailloux : mathieu.chailloux@inrae.fr

Jennifer Amsallem : jennifer.amsallem@inrae.fr



Sommaire

1. Définition	4
2. Flux lumineux.....	4
2.1. Données lampadaires	4
2.2. Flux source	4
3. Surface destinée à être éclairée	5
3.1. Sources de données	5
3.2. Calcul de la surface.....	5
4. Calcul de la DSFLI	7
5. Procédure avec QGIS	9
5.1. Préparation des données	9
5.2. Configuration standard (recommandé)	10
5.3. Configuration personnalisée	10
5.4. Résultats	11



1. Définition

L'arrêté définit la densité surfacique de flux lumineux installée (DSFLI) (cf. Figure 1) comme le « flux lumineux total des sources rapporté à la surface destinée à être éclairée », exprimé en lumen (lm) / m² et prescrit des seuils selon les zonages, par exemple 35 lm/m² en agglomération (cf. Figure 2).

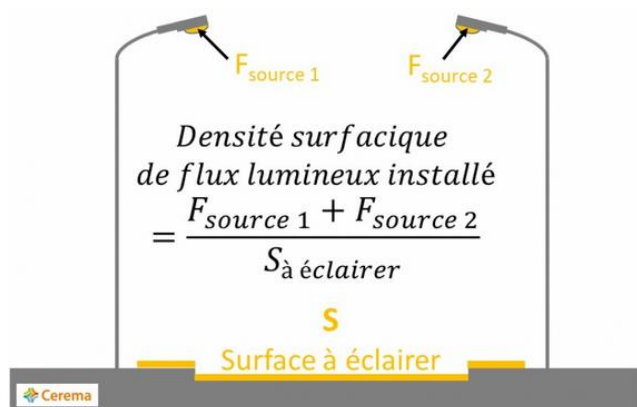


Figure 1: DSFLI (Source : CEREMA)

En lm/m2	En agglomération	Hors agglomération
Eclairages extérieurs	< 35	< 25
Parcs et jardins	< 25	< 10
Bâtiments non résidentiels	< 25	< 20
Parcs de stationnement	< 25	< 20

Figure 2: Seuils de DSFLI (Source : MTE)

Cet indicateur définit une dotation de flux lumineux rapportée à une surface cible mais ne correspond pas à un éclairage mesuré avec un luxmètre, notamment car le flux considéré est le flux « source » et non le flux réellement perçu par la surface .

2. Flux lumineux

2.1. Données lampadaires

Les flux lumineux s'obtiennent à partir des données « lampadaires », c'est-à-dire des couches géographiques qui contiennent pour chaque matériel d'éclairage public sa géolocalisation et son flux associé. Ces données sont produites par le gestionnaire (syndicat d'éclairage par exemple) qui doit alors les tenir à disposition de l'autorité de contrôle, à savoir la commune ou l'état (cf. [Article 5](#) de l'arrêté du 27 décembre 2018 relative aux nuisances lumineuses).

2.2. Flux source

Le flux source mentionné par l'arrêté se réfère au flux de la lampe ou du module LED, par opposition au flux du luminaire, et ne prend donc pas en compte le flux absorbé ou réfléchi (cf. Figure 3 et [wikinight](#)).

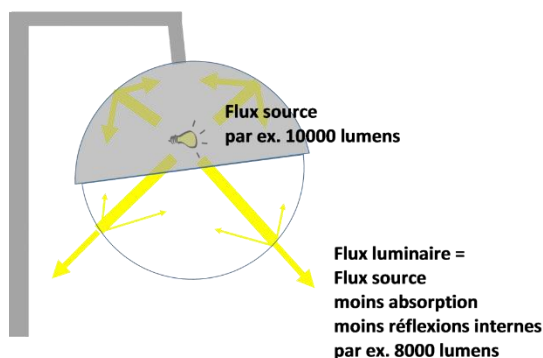


Figure 3: Flux source (Source : wikinight)

3. Surface destinée à être éclairée

L'arrêté ne définit pas la notion de surface à éclairer mais une [note explicative](#) publiée par le ministère précise que la « surface destinée à être éclairée correspond à la surface utile qui porte les déplacements, les personnes, les biens, dont l'éclairage contribue à favoriser la sécurité » et accompagne cette précision du schéma Figure 4.

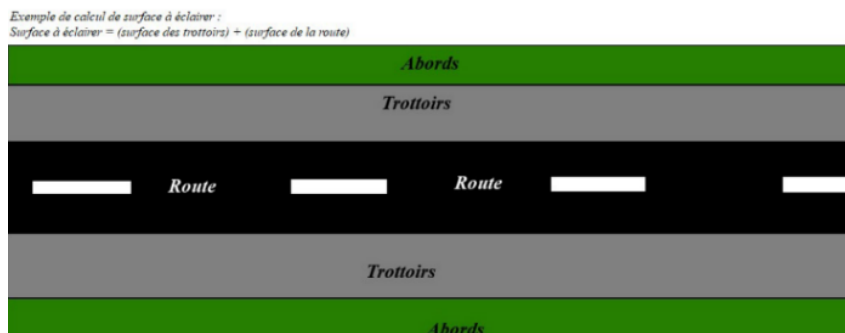


Figure 4: Surface à éclairer (Source : MTE)

La surface retenue comme pertinente correspond à la somme des éléments suivants :

- pour les routes : chaussée et trottoir,
- pour les parcs et jardins : les cheminements, massifs et zones d'activités des personnels dont le gestionnaire souhaite la mise en lumière. Comme les surfaces à éclairer sont à la discrétion du gestionnaire, les calculs de surface de ces espaces ne peuvent donc pas être automatisés dans cette méthode. Pour ceux qui le souhaitent, il est possible de les ajouter manuellement.
- les zones piétonnes : places, parvis,...
- les parcs de stationnement,
- les bâtiments non résidentiels : vitrines de commerces, bureaux, entrepôts... Ne disposant pas de données sur ces éléments, ils ne sont pas pris en compte dans cette méthode.

3.1. Sources de données

Plusieurs sources de données peuvent être utilisées pour construire la surface à éclairer :

- Le plan de voirie de la collectivité si les emprises sont renseignées (par exemple [celui de Paris](#)).
- La [BD TOPO](#)® de l'IGN, disponible actuellement dans le cadre de missions de service public et qui sera ouverte entièrement en 2022.
- Le parcellaire cadastral, via le [site officiel dédié](#) de la DGFIP, ou via le [site de l'IGN](#). La BD PARCELLAIRE® est plus précise géographiquement mais moins souvent mise à jour que le Parcellaire Express (PCI).
- [OpenStreetMap](#) dont les données peuvent être obtenues via l'API [Overpass](#).

L'emprise de la voirie étant rarement disponible telle quelle, la méthode générique se base principalement sur la BD TOPO® et le cadastre, qui peuvent alors être complétés par d'autres données.

3.2. Calcul de la surface

La méthode de calcul de la surface consiste à calculer des emprises de voirie depuis les différentes sources, puis de les réunir au sein d'une couche, et optionnellement de couper cette couche en fonction d'une distance maximale aux lampadaires.

Tronçons de route

L'emprise de la chaussée peut s'obtenir depuis la couche TRONCON_DE_ROUTE de la BD TOPO® et son champ LARGEUR en appliquant une zone tampon de valeur ' $LARGEUR / 2$ '. La largeur de la route n'est pas renseignée pour tous les tronçons et l'emprise résultante s'avère peu précise pour des formes de routes irrégulières, dans les centres-villes par exemple, et ne prend pas en compte les trottoirs (cf. Figure 5).

Cadastre

L'emprise peut aussi s'obtenir depuis le cadastre en calculant la différence entre la zone d'étude et la couche PARCELLE de la BD PARCELLAIRE®. Le résultat contient les potentielles routes, trottoirs et places mais aussi d'autres éléments comme les abords ou les rivières. Pour les rivières il est possible de les éliminer en grande partie avec la couche SURFACE_HYDROGRAPHIQUE de la BD TOPO® même si des artefacts peuvent rester (cf. Figure 6). Certaines parcelles correspondent à de la voirie, notamment dans les nouveaux quartiers, et peuvent être rajoutées manuellement.

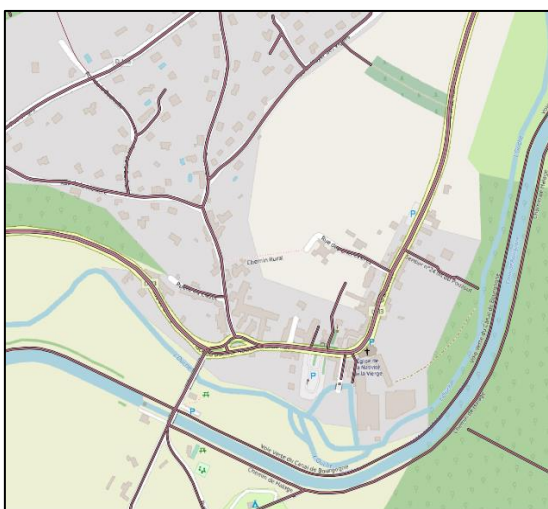


Figure 5: Surface à éclairer (BD TOPO)

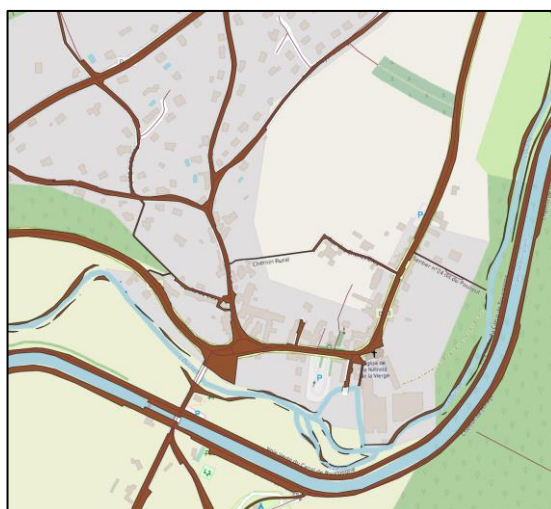


Figure 6: Surface à éclairer (Cadastre)

OpenStreetMap

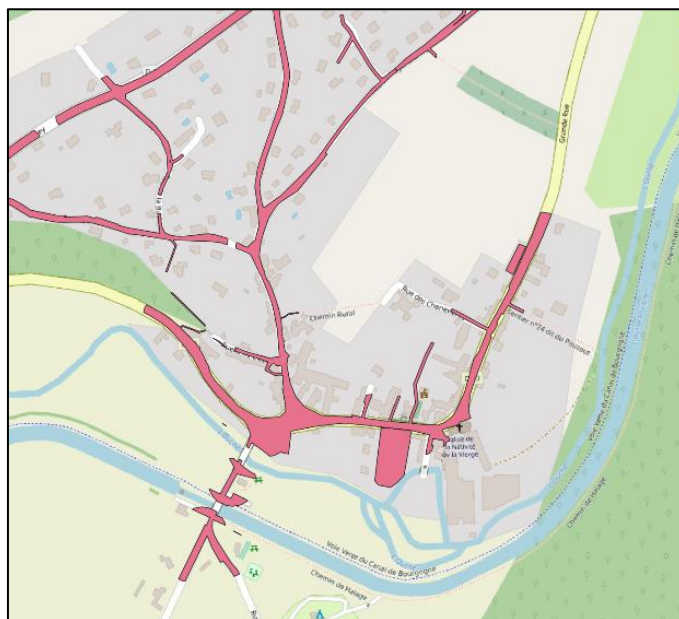
Les parcs de stationnements peuvent s'obtenir depuis les données OpenStreetMap et l'étiquette amenity='parking', les étiquettes parking='surface' et access='yes' permettant de filtrer les parkings extérieurs publics. La couche EQUIPEMENT_DE_TRANSPORT de la BD TOPO® contient aussi les parkings (Nature = 'Parking') mais certaines emprises sont mal renseignées.

Les cheminements piétons et zones piétonnes dans OpenStreetMap correspondent à l'étiquette highway. La valeur pedestrian correspond aux places/zones piétonnes, les valeurs footway et path aux chemins piétons. Pour ces derniers, il convient alors d'estimer une largeur de ceux-ci et créer la zone tampon correspondante ($largeur/2$).

Agrégation des surfaces

Les différentes surfaces sélectionnées précédemment sont regroupées pour combler les lacunes de chaque source et obtenir une couche unique de surface destinée à être éclairée (cf Figure 7). Le cadastre est pertinent pour les centres-villes et les villes denses car très précis tandis que la BD TOPO® est plus homogène sur l'ensemble des territoires. OpenStreetMap apporte quelques compléments pertinents.





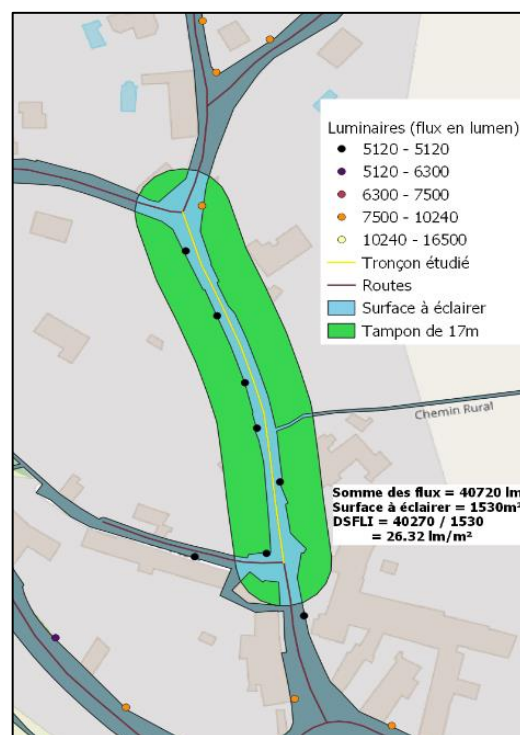
4. Calcul de la DSFLI

Le calcul de la DSFLI demande d'associer un flux lumineux à une surface destinée à être éclairée.

La méthode développée se base sur des **unités de rapportage** (par exemple zone tampon autour des tronçons pour récupérer tous les luminaires associés, de 17 mètres en Figure 8) auxquelles sont associées un ensemble de sources lumineuses (les points à l'intérieur de l'unité) et une surface à éclairer (le résultat de l'étape précédente découpé aux limites de l'unité). La DSFLI est alors calculée pour chaque unité en divisant la somme des flux des sources lumineuses par la superficie de la surface obtenue (cf Figure 8).

La sensibilité des résultats dépend du type d'unité de rapportage (tronçon de route, maille régulière, quartiers, centrée sur chaque lampadaire, ...) et de sa cohérence avec l'organisation spatiale des lampadaires. Par exemple si un luminaire émettant un flux élevé est inclus en limite d'unité de rapportage, la DSFLI peut être surestimée, alors que si l'unité de rapportage contient des surfaces destinées à être éclairées mais qui ne le sont pas, la DSFLI est sous-estimée.

Plusieurs modes de calcul ont été testés en variant le type d'unité de rapportage. Le mode le plus pertinent qui se dégage est le calcul de la DSFLI par **tronçon de route** (cf. Figure 10) : l'unité est construite en utilisant un tampon autour du tronçon en fonction de la largeur renseignée dans la couche de route. Pour faciliter l'amélioration du parc d'éclairage par les gestionnaires, un calcul de la DSFLI par **lampadaire** peut être envisagé (cf. Figure 9) : l'unité est construite en associant chaque surface au lampadaire le plus proche par une partition de Voronoï.



Dans les 2 cas, ces unités sont bornées par une distance maximale à la couche de lampadaires (30 mètres dans la Figure 10 et la Figure 9).



Figure 9 DSFLI (par tronçon de route)

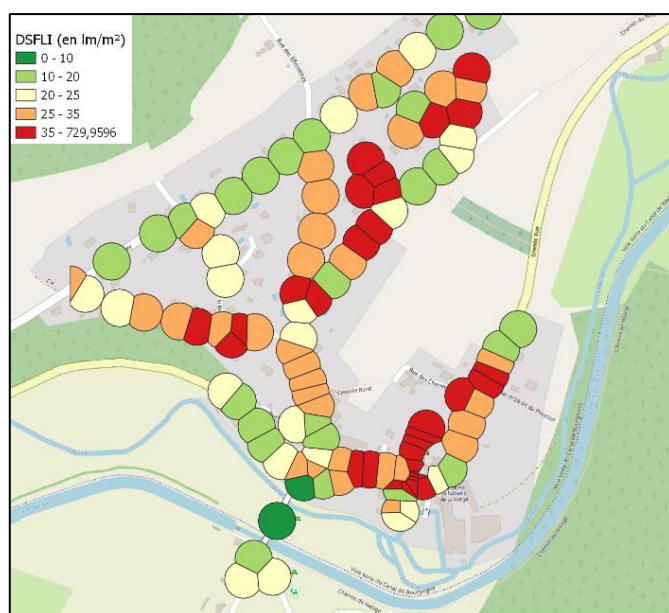


Figure 10 : DSFLI (par lampadaire)

Gestion des carrefours

Les lampadaires proches des intersections posent une problématique à prendre en compte si l'unité de rapportage se base sur le réseau routier (tronçon de route par exemple) car il est difficile d'assigner ces lampadaires à un tronçon en particulier (cf. Figure 11) et la construction de zones tampons peut amener à prendre en compte plusieurs fois ces lampadaires (une fois par tronçon). Il est alors conseillé d'utiliser des tampons à « bouts plats » (cf. Figure 12) pour limiter l'inclusion du carrefour dans l'unité de rapportage.

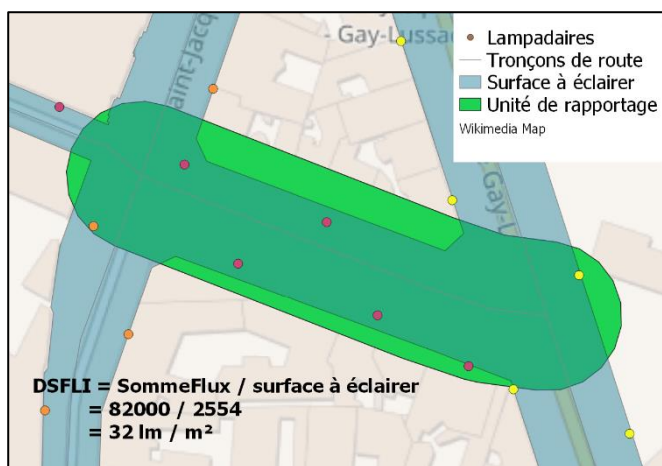


Figure 11: Tampon à bout rond

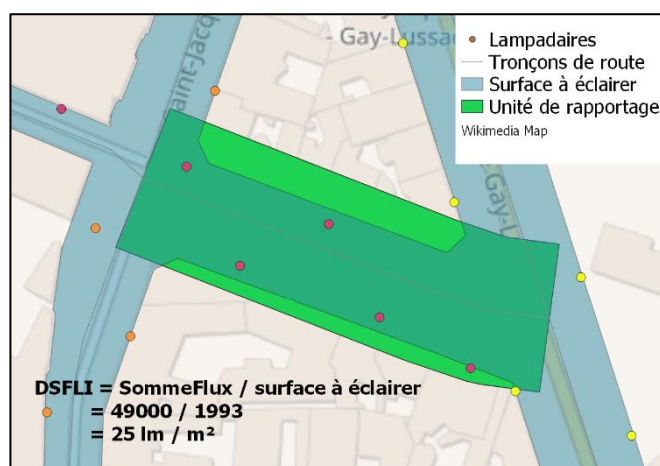


Figure 12: Tampon à bout plat

Les autres unités de rapportage testées (maille régulière, sous-quartiers, routes entières) peuvent avoir une pertinence dans certains cas ou pour effectuer des premiers lancements rapides mais ne sont pas assez précises pour aider les gestionnaires. Par exemple, une valeur de DSFLI par route entière ne permet pas d'identifier des travaux de rénovation effectués sur un tronçon.

Enfin, l'utilisation des tronçons permet un suivi dans le temps en se basant sur l'identifiant de la BD TOPO®.

5. Procédure avec QGIS

Cette méthode se base sur QGIS (version 3) et mobilise 2 extensions :

- *QuickOSM* pour accéder aux données OpenStreetMap
- *LightPollutionToolbox* pour appliquer la plupart des traitements évoqués ci-dessus

Pour installer ces plugins, aller dans le menu *Extension* → *Installer/Gérer les extensions*.

Les traitements évoqués par la suite peuvent être appelés depuis la boîte à outils de traitement.

Dans cette section la méthode est appliquée pour exemple au 5^{ème} arrondissement de Paris.

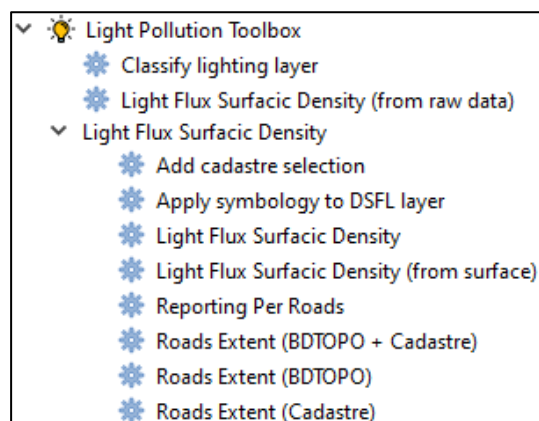


Figure 13 : Algorithmes *LightPollutionToolbox*

5.1. Préparation des données

Pour calculer la DSFLI, les données suivantes sont requises :

- une couche d'emprise de la zone d'étude (limites administratives par exemple)
- les sources lumineuses avec un attribut correspondant au flux lumineux (par exemple la couche d'[éclairage public](#) de Paris)
- la couche TRONCON_ROUTE de la BDTOPO

Pour rappel, la BDTOPO est téléchargeable librement à l'adresse suivante :

<https://geoservices.ign.fr/documentation/diffusion/telechargement-donnees-libres.html#bd-topo>

- la couche SURFACE_HYDROGRAPHIQUE de la BDTOPO
- la couche PARCELLE de la BDPARCELLAIRE

Découper les couches aux limites de la zone d'étude (algorithme *clip*).

- L'emprise des parkings d'OpenStreetMap

Lancer l'extension QuickOSM (icône .

Pour extraire tous les parkings exécuter une requête rapide dans *QuickOsm* sur l'emprise de la zone d'étude (cf. Figure 14).

Pour ne garder que les parkings publics extérieurs, exécuter l'algorithme QGIS '*Extraire par expression*' avec les paramètres de la Figure 15.

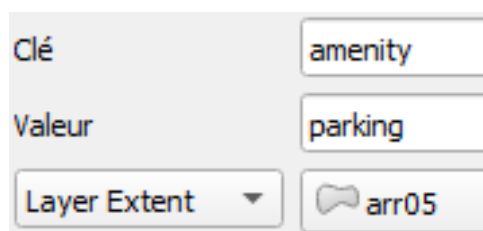


Figure 14 : Requête QuickOSM

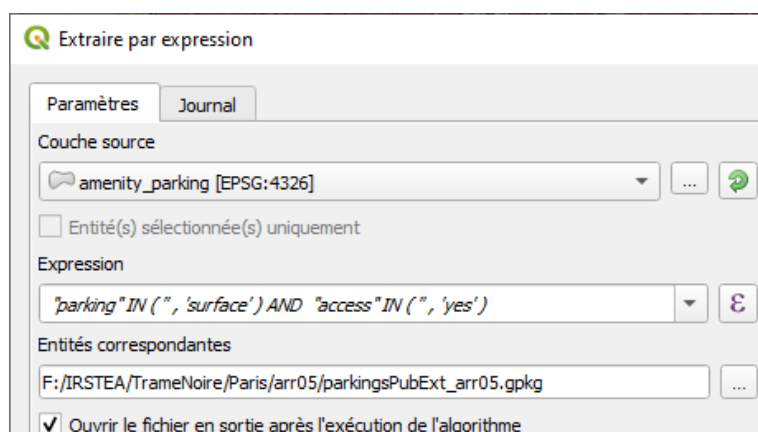


Figure 15 : Parkings publics extérieurs

5.2. Configuration standard (recommandé)

Lancer l'algorithme '*Light Flux Surfacic Density (from raw data)*' et renseigner les paramètres suivants :

- Le mode de calcul *Reporting mode* pour les unités de rapportage (par lampe, par route, par tronçon ...)
- La couche de sources lumineuses
- L'attribut correspondant au flux dans la couche de sources lumineuses
- La couche de routes (a priori la couche TRONCON_ROUTE de la BDTOPO)
- La couche d'emprise (zone d'étude)
- La couche contenant les parcelles cadastrales
- La couche de surfaces hydrographiques (optionnelle)

Appuyer sur le bouton Exécuter.

Le lancement produit 3 résultats :

- *Surface layer* la couche de surface destinée à être éclairée (cf. Figure 18)
- *Reporting layer* la couche contenant les unités de rapportage
- *Output layer* la couche finale contenant une valeur de DSFLI pour chaque unité de rapportage (cf. Figure 19) avec une légende reprenant les seuils réglementaires

Light Flux Surfacic Density (from raw data)

Paramètres Journal

Reporting mode
Per lamp

Lighting layer
edairage-public-ext_arr05 [EPSG:2154]

☐ Entité(s) sélectionnée(s) uniquement

Light flux field
1.2 flux_lampe

Roads layer
troncon_route_arr05 [IGNF:LAMB93]

☐ Entité(s) sélectionnée(s) uniquement

Extent layer
arr05 [EPSG:2154]

☐ Entité(s) sélectionnée(s) uniquement

Cadastral layer
PARCELLE [IGNF:LAMB93]

☐ Entité(s) sélectionnée(s) uniquement

Hydrographic surface layer [optionnel]
bdtopo2019_surface_hydro_paris [IGNF:LAMB93]

☐ Entité(s) sélectionnée(s) uniquement

► Paramètres avancés

Surface layer [optionnel]
[Enregistrer dans un fichier temporaire]

☒ Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme

Reporting layer [optionnel]
[Enregistrer dans un fichier temporaire]

☒ Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme

Output layer
[Enregistrer dans un fichier temporaire]

☒ Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme

0%

Exécuter comme processus de lot... Exécuter Annuler Fermer

Light Flux Surfacic Density (from raw data)
Computes light flux surfacic density from raw data

Figure 16: Calcul DSFLI depuis données brutes

5.3. Configuration personnalisée

Il est possible de personnaliser le calcul de la surface à éclairer, de la couche de rapportage et du calcul de la DSFLI à travers les paramètres des 3 traitements associés (dans le groupe *Light Flux Surfacic Density*) :

- '*Roads Extent (BDTOPO + Cadastre)*' qui construit la couche de surface destinée à être éclairée à partir des paramètres suivants :
 - *Expression to select features* : permet de ne sélectionner que certains tronçons de route (par défaut les tronçons en service, non fictifs, non souterrains, à l'exceptions des sentiers)
 - *Roads buffer value* : la valeur de la zone tampon qui modélise l'emprise des tronçons (par défaut la largeur divisée par 2, à défaut le nombre de voies multiplié par 1.75).

- *Exclude layers* : les éléments à retirer de la couche résultante (par exemple les surfaces en eau ou les espaces verts)
- *Include layers* : les éléments à inclure dans la couche résultante (par exemple les parkings)
- *Reporting per roads* qui construit les unités de rapportage à partir des tronçons de route avec les paramètres suivants :
 - *Expression to select features* : permet de ne sélectionner que certains tronçons de route
 - *Roads buffer value* : la valeur de la zone tampon pour construire les unités de rapportage. L'unité doit couvrir toute la surface du tronçon et des trottoirs correspondants sans trop inclure la surface des tronçons voisins.
 - *End cap style* : détermine le style de tampon aux extrémités des tronçons : rond, plat (par défaut, pour moins prendre en compte la surface des carrefours) ou carré.
 - *Join roads by name* : une unité de rapportage par route (une route = tronçons de même nom)
- *Light Flux Surfacic Density* qui calcule la DSFLI à partir des résultats précédents (couches d'éclairage public, de rapportage et de surface à éclairer) et en fonction de paramètres avancés :
 - *Maximal distance to lighting layer* : distance maximale à un lampadaire pour la prise en compte des surfaces à éclairer dans le calcul de la DSFLI
 - *Skip features with empty flux, Features minimal area, Minimal number of lamps* : des seuils minimaux de flux cumulé, surface à éclairer et nombre de lampadaires pour calculer la DSFLI d'une unité de rapportage (gain en temps de calcul sur les entités ignorées)

5.4. Résultats

Cette section montre quelques résultats cartographiques pour le 5^{ème} arrondissement de Paris.

La Figure 18 montre la surface à éclairer calculée par l'outil qui est très proche de l'emprise de la voirie extraite des données ouvertes de la ville de Paris (Figure 17). Le cadastre est en effet très pertinent dans les villes denses mais doit dans tous les cas être consolidé par d'autres données (hydrographie, routes, parkings, ...).

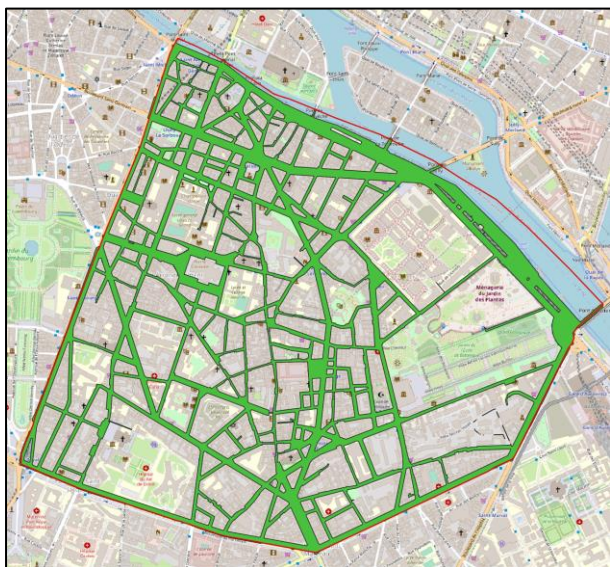


Figure 18: Surface à éclairer (BDTOPO + Cadastre)



Figure 17: Emprise de la voirie (OpenData Paris)

La Figure 19 montre le résultat brut de la modélisation de la DSFLI par tronçon de route produite par l'outil. Les tronçons dépassent presque tous le seuil réglementaire de 35 lm/m² en agglomération. La Figure 20

applique une classification par quantiles sur le champ FLUX_DEN qui correspond à la DSFLI afin d'identifier les tronçons les plus problématiques.

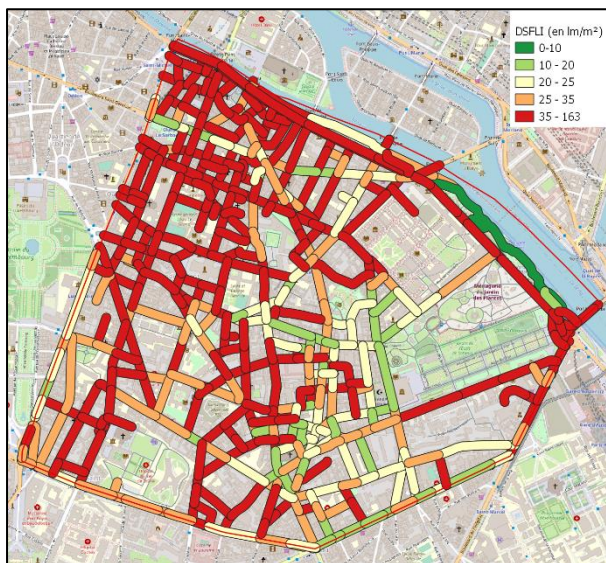


Figure 19: DSFLI (seuils réglementaires)

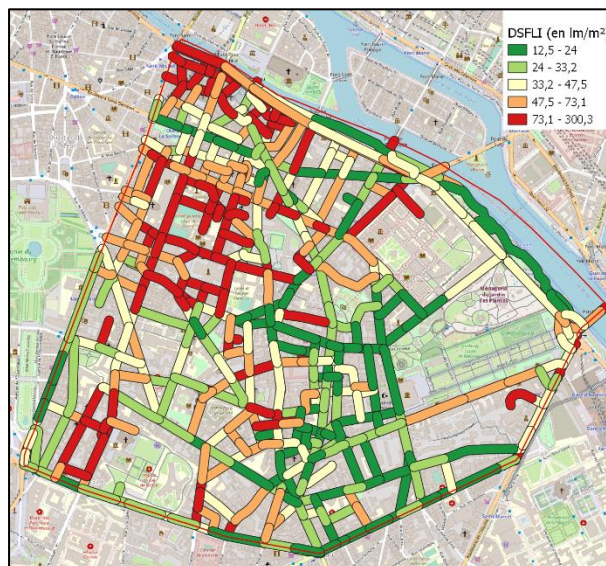


Figure 20: DSFLI (classification par quantiles)

Il n'y a pas d'éclairage des parcs et jardins sur ce territoire ni de parkings extérieurs suffisamment grands pour justifier un éclairage mais pour modéliser la DSFLI dans ces 2 cas il est possible d'appliquer la méthode en prenant comme unité de rapportage la surface du parc ou du parking augmenté d'un léger tampon pour être certain d'inclure tous les éclairages pertinents.



Centre INRAE Occitanie - Montpellier

2, place Viala
34000 Montpellier

Rejoignez-nous sur :



www.inrae.fr

Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et l'environnement



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE