



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

Bucaille Théo
LP SIGDAT 2024 - 2025

UFR SEGGAT Département de Géographie

LP SIGDAT

EVALUATION LPRO – UE GEOPROCESSING

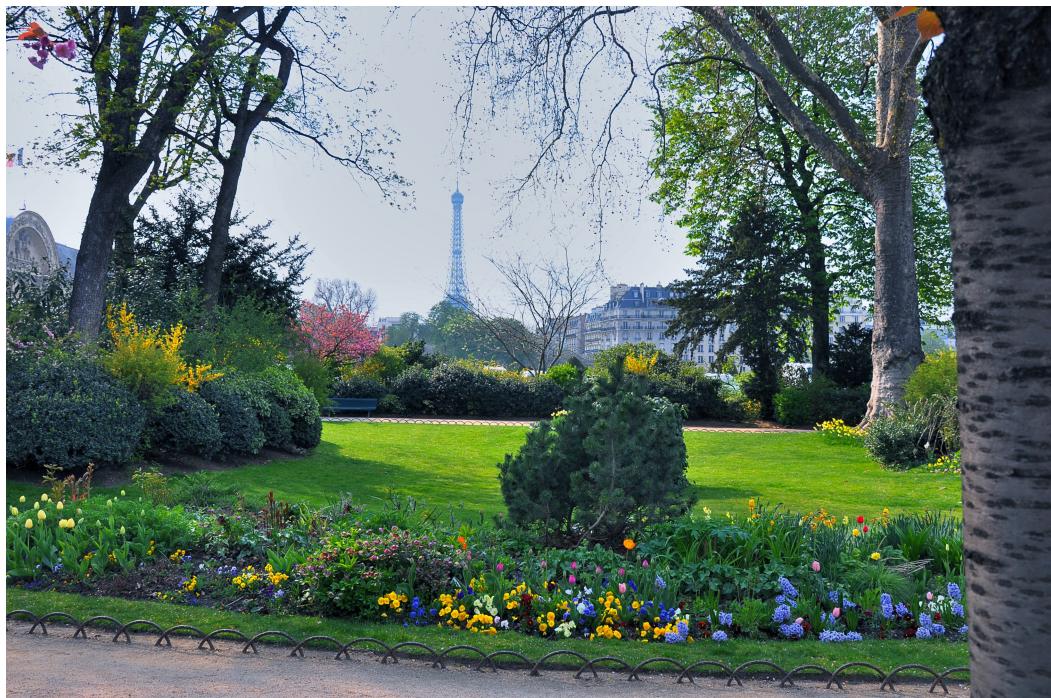


Table des matières

Introduction.....	3
Méthodologie adoptée.....	5
Données mobilisées et sources.....	5
Nettoyage, Selection, Préparation des données :.....	6
Traitements.....	11
Commentaire et interprétation des résultats.....	22
Conclusion et perspectives.....	24
Annexe.....	25

Introduction

La croissance urbaine constitue un enjeu majeur pour les métropoles contemporaines. Les grandes villes comme Paris doivent répondre à un double défi : accueillir une population croissante avec des besoins en logements et infrastructures, tout en préservant les espaces verts, essentiels à la qualité de vie urbaine.

Paris, capitale de la France, s'étend sur 105 km² et regroupe environ 2,1 millions d'habitants (INSEE, 2023). C'est la ville la plus densément peuplée du pays, avec une urbanisation intense et des projets d'aménagement majeurs, notamment dans le cadre du Grand Paris. Cette densification s'accompagne souvent d'une réduction ou d'une fragmentation des espaces végétalisés, posant la question de leur préservation et de leur accessibilité.

Les espaces verts jouent un rôle fondamental dans le bien-être des citadins : ils contribuent à l'amélioration de la qualité de l'air, régulent les températures, favorisent la biodiversité et offrent des lieux de détente et de loisirs. Or, à Paris, où la densité de population dépasse largement celle des autres grandes villes européennes, la pression foncière met en péril ces espaces. De nombreuses zones connaissent une urbanisation accrue, soulevant des inquiétudes quant à la diminution de la surface végétalisée et ses conséquences sur le cadre de vie.



Dans ce contexte, nous nous interrogeons : **comment la densification urbaine impacte-t-elle les espaces verts à Paris ?** Notre réflexion s'articule autour de plusieurs questions : la croissance urbaine entraîne-t-elle une réduction directe des espaces verts, ou leur transformation sous d'autres formes ? L'accès aux espaces verts est-il affecté par cette densification ? Enfin, quels sont les quartiers les plus touchés par cette évolution et ceux qui parviennent à maintenir un équilibre entre urbanisation et préservation des espaces naturels ?

Nous formulons l'hypothèse que la densification urbaine à Paris se traduit par une **diminution et une fragmentation des espaces verts**, compromettant ainsi leur accessibilité et leur continuité écologique. Toutefois, certaines initiatives récentes, comme la **végétalisation des toits** ou la création de **micro-forêts urbaines**, pourraient contribuer à atténuer ces effets.

L'objectif de cette étude est donc d'analyser l'évolution des espaces verts dans un contexte de densification urbaine à Paris. Pour cela, nous chercherons à évaluer l'accès aux espaces

pour les habitants, à l'aide d'analyses spatiales et de calculs d'isochrones, et à quantifier la population par zone d'accessibilité afin de mettre en lumière les inégalités dans l'accès à ces espaces. Nous identifierons également les quartiers les plus vulnérables face à cette évolution et ceux qui bénéficient d'une répartition plus équilibrée des espaces naturels.

Pour mener à bien cette étude, nous nous appuierons sur une approche géospatiale combinant plusieurs outils et techniques. Nous utiliserons les Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour croiser les données des espaces verts, des bâtiments et des IRIS. Le calcul d'isochrones piétons nous permettra de mesurer les temps de trajet réels entre les bâtiments et les espaces verts, en tenant compte du réseau routier. Enfin, des traitements statistiques seront réalisés afin d'estimer la population concernée dans chaque zone d'accessibilité, répartie par tranches de temps (0-5 minutes, 5-10 minutes, 10-15 minutes et 15-20mins.).

Cette analyse a pour but de mieux comprendre les dynamiques territoriales à Paris et de fournir des éléments concrets pour orienter les politiques publiques. En identifiant les zones les plus déficitaires en espaces verts et celles où l'accessibilité est réduite, notre travail pourra contribuer à promouvoir un aménagement urbain plus durable et équilibré, tout en encourageant la création de nouveaux espaces végétalisés ou l'amélioration de ceux existants.

Méthodologie adoptée

Données mobilisées et sources

Pour mener cette étude sur l'accessibilité aux espaces verts et la répartition de la population à Paris, nous avons mobilisé un ensemble de données fiables et précises, issues de plusieurs sources officielles.

- **Données démographiques** : La population par IRIS a été obtenue auprès de l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques). Les IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) sont des mailles territoriales fines, adaptées à l'étude intra-urbaine, ce qui permet une lecture précise des dynamiques locales.
- **Découpage administratif** : La couche des arrondissements parisiens, issue des données ouvertes de l'APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme), nous a permis d'agréger les résultats à une échelle plus large et de comparer les densités de population et l'accès aux espaces verts entre les différents quartiers.
- **Espaces verts** : Les données des espaces verts provient de l'Open Data de la Ville de Paris.
- **Bâtiments et réseau piéton** : La couche des bâtiments provient de la BD TOPO de l'IGN (Institut Géographique National), dans laquelle nous avons filtré les bâtiments à usage résidentiel. Le réseau routier piéton a été extrait grâce à QUICKOSM dans QGIS, en utilisant les données d'OpenStreetMap, avec une sélection spécifique des chemins piétons (footways) afin d'assurer un calcul précis des temps de trajet à pied.

Nettoyage, Selection, Préparation des données :

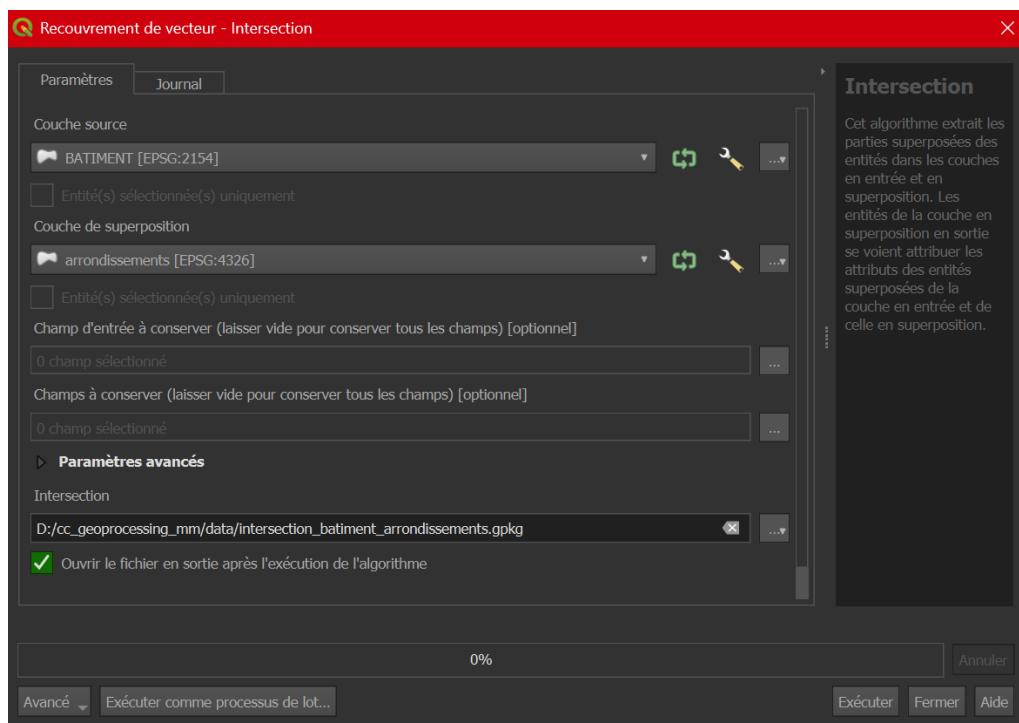
Avant de débuter toute analyse géospatiale et de traiter les données dans QGIS, il est essentiel de s'assurer que toutes les couches utilisent le même système de projection. Une projection cohérente permet d'effectuer des calculs de distances, de surfaces et d'autres mesures spatiales avec précision.

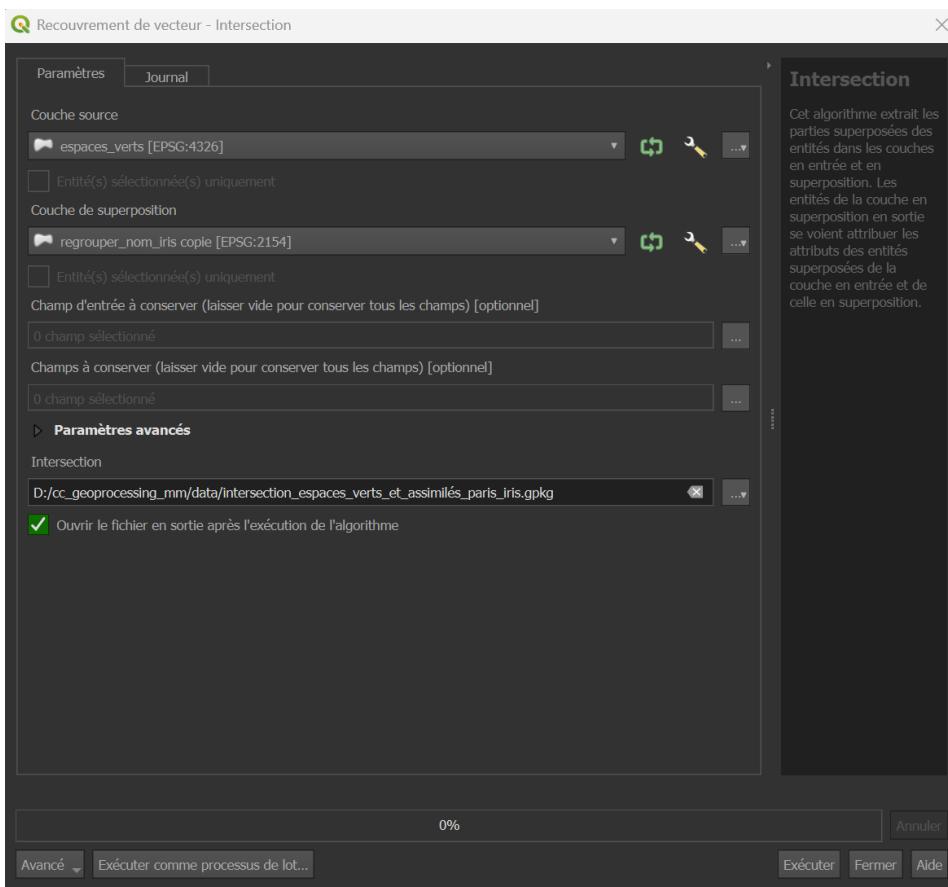
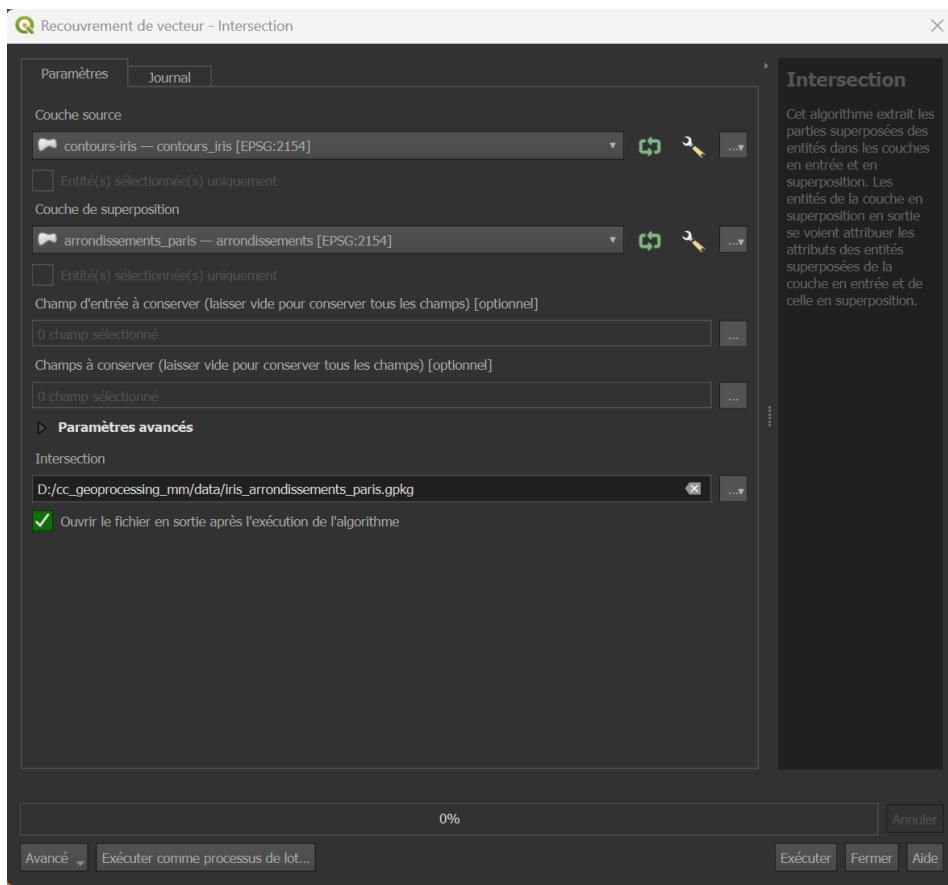
Dans le cadre de cette étude, nous avons vérifié et, si nécessaire, ajusté la projection de nos couches pour les aligner sur le système de coordonnées **RGF93 / Lambert-93 (EPSG:2154)**, largement utilisé pour les analyses cartographiques en France métropolitaine. Cette opération a été réalisée à l'aide de l'outil «**reprojeter**», qui permet de convertir les données dans le bon système de référence spatiale.

Par ailleurs, pour garantir que nos analyses portent exclusivement sur la ville de Paris, nous avons procédé à un découpage spatial des différentes couches (bâtiments, espaces verts, etc.) à l'aide de l'outil «**Intersection**». Cet outil permet de ne conserver que les entités qui se situent dans les limites administratives de Paris, évitant ainsi toute interférence avec des données hors périmètre et assurant une analyse ciblée et pertinente.

Ces étapes préliminaires sont cruciales pour garantir la fiabilité des résultats et éviter les biais liés aux erreurs de projection ou à des données hors contexte spatial.

Quelques captures montrant ces étapes :





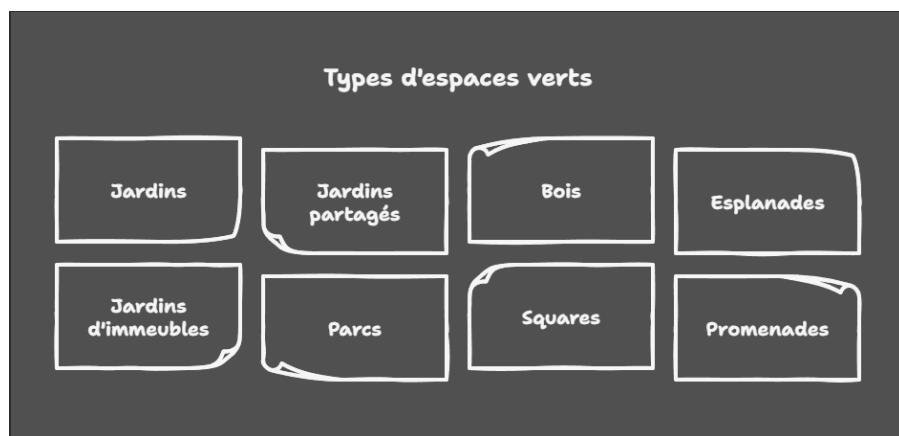
Pour garantir la pertinence et la précision de nos analyses, nous avons réalisé plusieurs sélections ciblées sur nos différentes couches de données.

Tout d'abord, la base de notre étude repose sur les IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique), qui sont des unités statistiques utilisées pour découper le territoire en zones homogènes. Il existe trois types d'IRIS :

- Les IRIS d'habitat (code H), qui regroupent généralement entre 1 800 et 5 000 habitants et sont définis selon le type d'habitat, avec des limites correspondant aux grandes infrastructures (voies principales, cours d'eau, etc.).
- Les IRIS d'activité (code A), centrés autour des zones à forte concentration d'emplois (environ 1 000 salariés et au moins deux fois plus d'emplois que d'habitants).
- Les IRIS divers (code D), qui couvrent de vastes zones spécifiques peu habitées, comme les parcs de loisirs, forêts, ou zones industrielles.

Dans le cadre de notre analyse, nous avons choisi de ne conserver que les IRIS de type "Habitat" (H). Cette sélection permet de nous concentrer exclusivement sur les zones résidentielles, là où la population habite réellement, afin d'obtenir une représentation fidèle des habitants concernés par la proximité aux espaces verts.

Ensuite, nous avons procédé à une sélection rigoureuse des espaces verts. L'objectif étant d'étudier l'accès des habitants à des espaces verts paisibles et propices à la détente, nous avons retenu les catégories pertinentes, telles que :



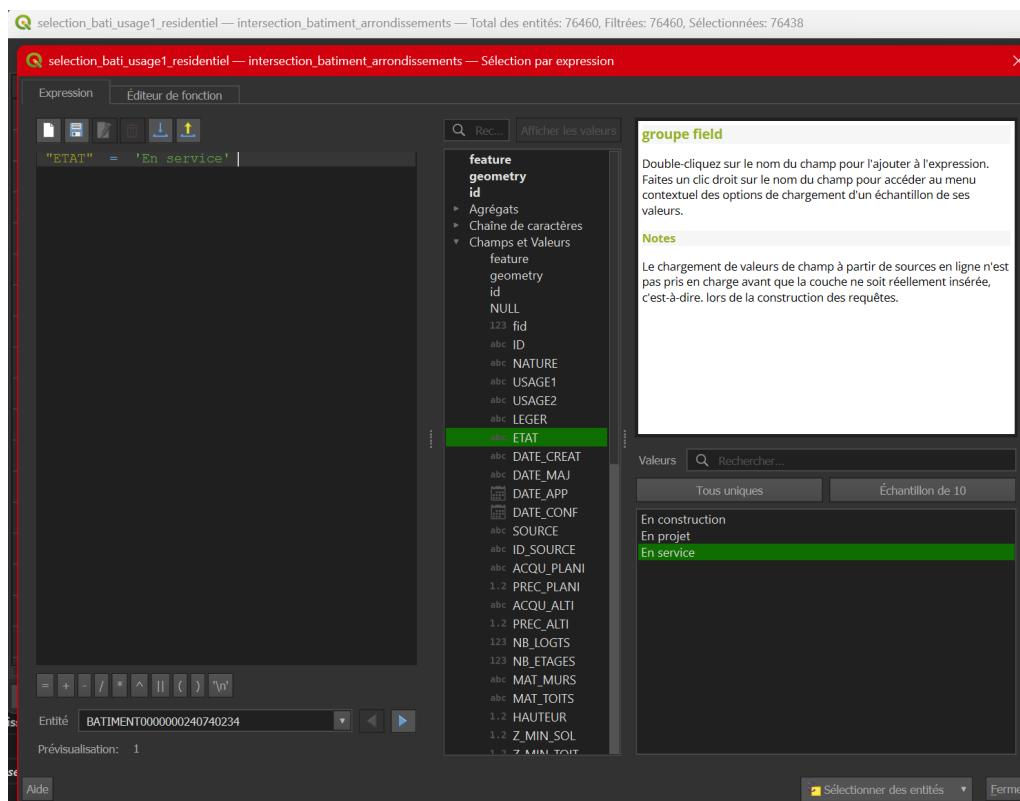
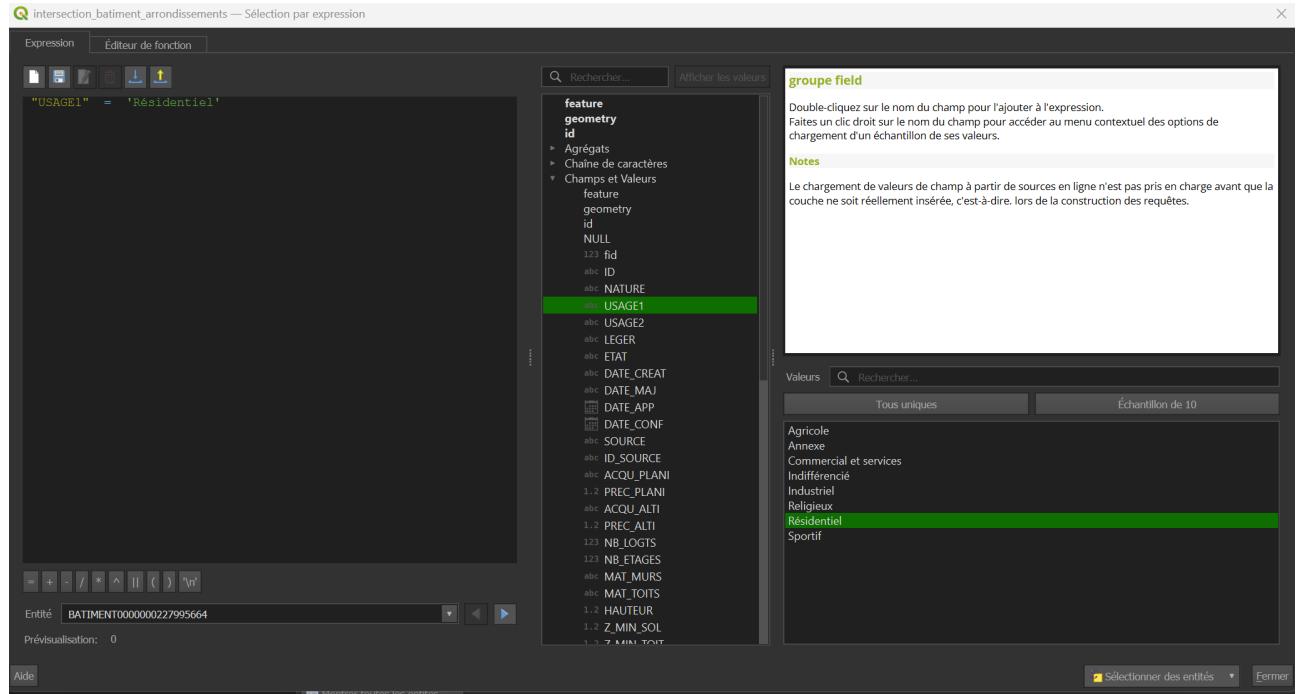
À l'inverse, nous avons exclu les éléments qui ne correspondent pas à notre définition d'espaces verts de repos, comme les décos végétales, jardinières, terrains de pétanque, ou terre-pleins. De plus, nous avons décidé de ne conserver que les espaces verts d'une superficie supérieure à 2 000 m². Ce seuil nous semble pertinent, car il nous permet de nous concentrer sur des espaces suffisamment grands pour offrir un cadre calme et agréable, contrairement à un petit jardin de 100 m², qui ne permettrait pas de répondre à notre problématique.

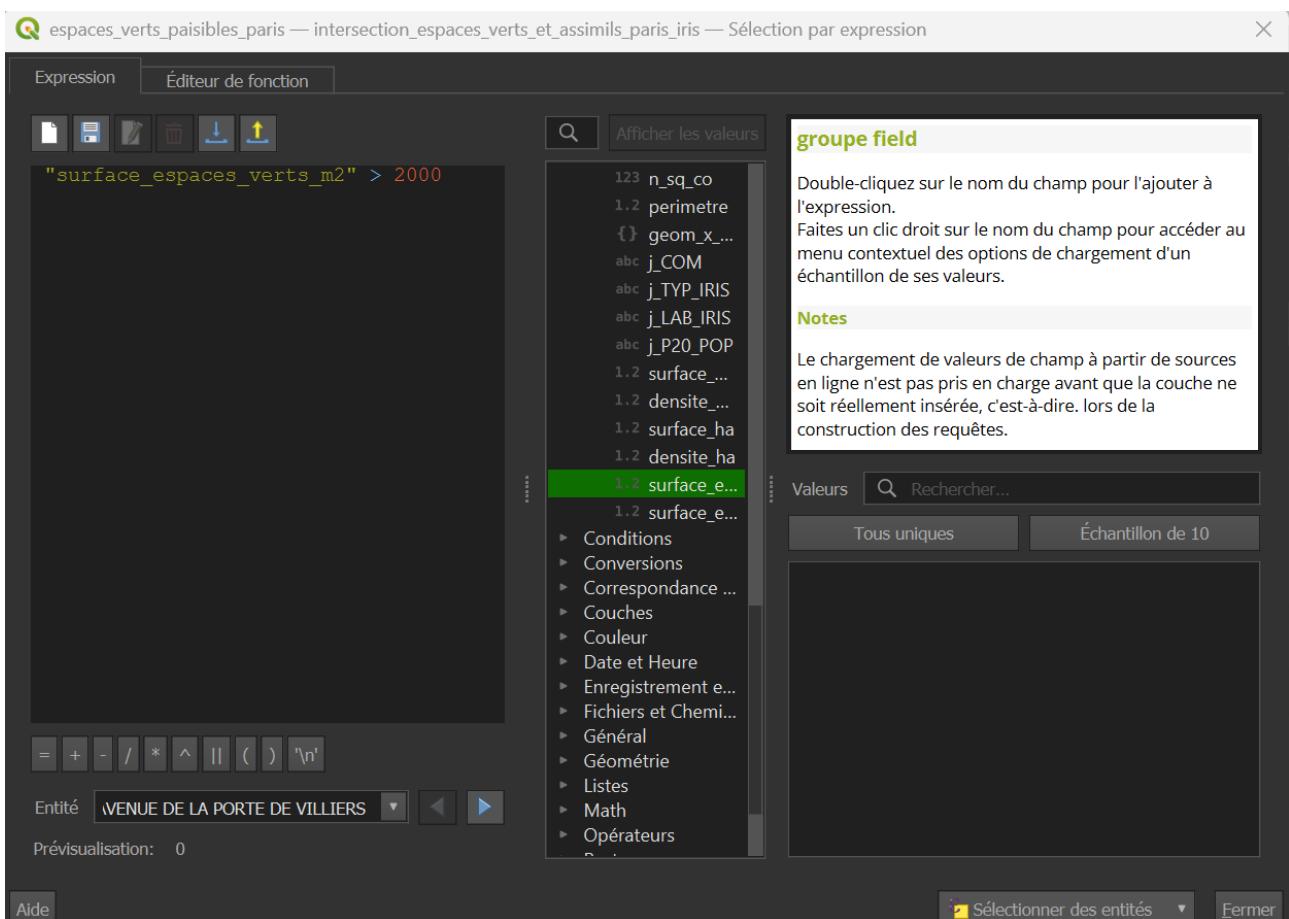
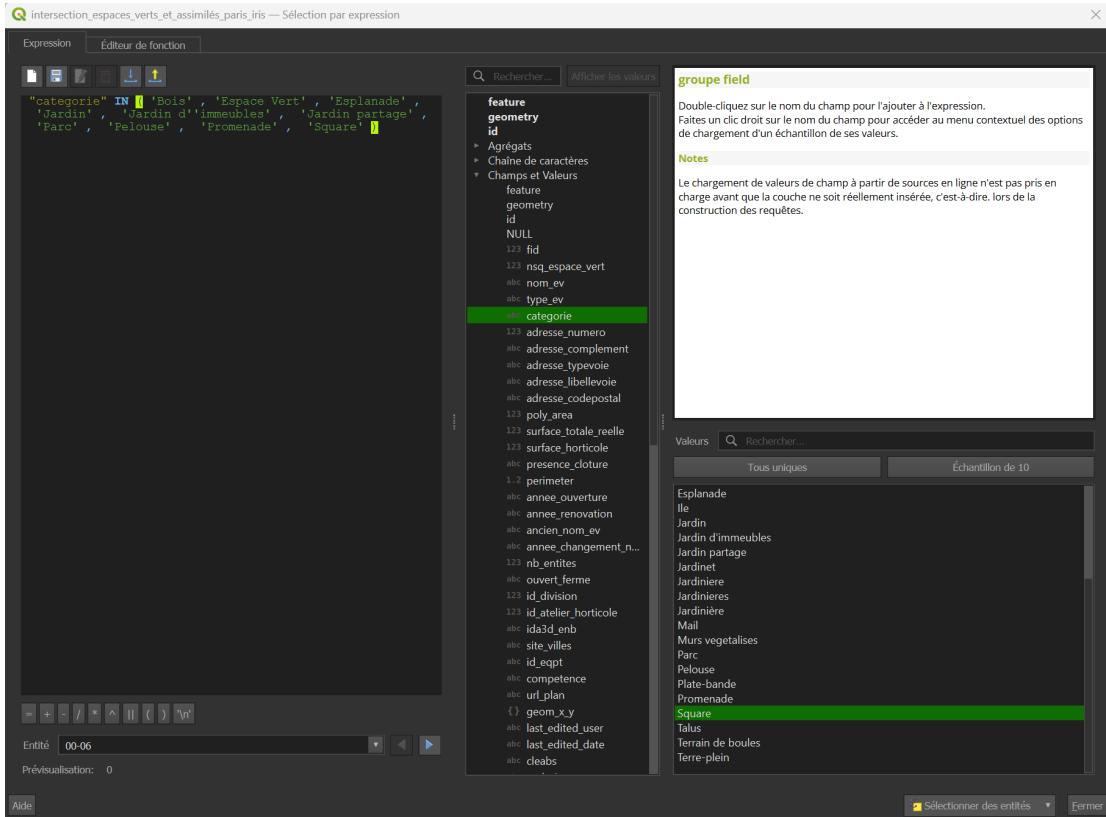
Enfin, nous avons procédé à la sélection des bâtiments. Nous avons filtré la couche des bâtiments pour ne conserver que ceux ayant un usage résidentiel (usage 1 : "Résidentiel") ainsi que les bâtiments «en service». Cette sélection est indispensable, car elle nous permet de ne prendre en

compte que les bâtiments où vivent effectivement les habitants, en excluant les bâtiments à usage commercial, industriel ou administratif qui n'entrent pas dans le cadre de notre étude.

Ces étapes de sélection nous assurent de travailler sur des données adaptées à notre problématique et d'obtenir des résultats cohérents, en lien direct avec l'analyse de l'accessibilité des espaces verts pour les habitants de Paris.

Quelques captures montrant ces étapes :





Traitements

La première carte réalisée porte sur la densité de population par IRIS à Paris. Pour obtenir ces données et les représenter correctement, plusieurs étapes méthodologiques ont été nécessaires.

Tout d'abord, nous avons commencé par récupérer les données de population par IRIS, issues du site officiel de l'INSEE. Le fichier téléchargé, au format CSV, a été minutieusement vérifié et nettoyé afin d'éliminer toute incohérence ou donnée manquante pouvant fausser les résultats.

Une fois le fichier prêt, nous l'avons importé dans QGIS en utilisant l'outil "Ajouter une couche feuille de calcul". Cette étape permet d'intégrer les données tabulaires dans notre projet SIG.

Pour associer ces données démographiques à leur dimension spatiale, nous avons ensuite effectué une jointure entre le fichier CSV et la couche géographique des IRIS. Cette jointure a été réalisée en utilisant le champ commun, généralement le code IRIS, afin de relier chaque zone statistique à ses données de population.

Afin de calculer la densité de population, nous avons commencé par déterminer la surface des IRIS en hectares, une unité plus pertinente pour exprimer des densités urbaines. Cela a été fait à l'aide de l'expression suivante dans le calculateur de champs de QGIS : \$area / 10000

Enfin, pour obtenir la densité de population (habitants par hectare), nous avons créé un nouveau champ et utilisé la formule suivante : "Population_totale" / "Surface_en_hectares"

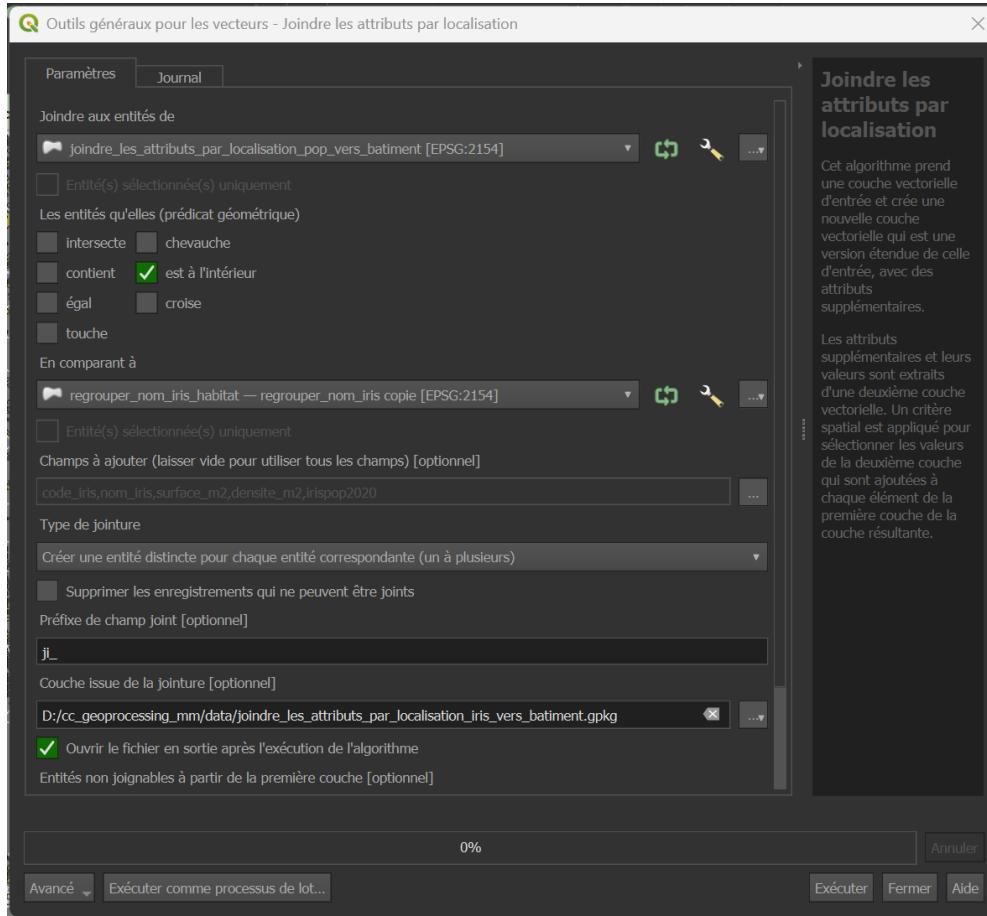
Cette densité permet de visualiser la concentration d'habitants au sein de chaque IRIS, révélant ainsi les zones les plus peuplées et celles qui le sont moins. Cette carte constitue une base essentielle pour la suite de notre analyse, car elle nous permet de croiser ces données avec la localisation des espaces verts et d'évaluer la pression démographique autour de ces derniers.

Densité de population par IRIS dans la ville de Paris (2023)



La deuxième carte réalisée s'attache à estimer le nombre d'habitants par bâtiment résidentiel à Paris. Cette étape repose sur une méthodologie précise, combinant les données de population par IRIS et la couche des bâtiments résidentiels.

Le travail a débuté par une jointure spatiale grâce à l'outil "Joindre les attributs par localisation" dans QGIS. La couche des bâtiments a été définie comme couche cible, tandis que les IRIS constituaient la couche de comparaison. Le prédictat géométrique choisi — "est à l'intérieur" — permet d'attribuer à chaque bâtiment le code IRIS correspondant.



Une fois cette association réalisée, il a fallu affiner les données sur la surface des bâtiments. La couche des bâtiments utilisée, issue de la BD TOPO de l'IGN, comporte un champ "surface" qui représente la somme des surfaces de plancher de tous les niveaux du bâtiment, exprimée en hectares. Cependant, pour estimer la surface au sol, il était nécessaire de la ramener à une seule emprise horizontale.

Deux cas de figure se sont alors présentés :

- Si le nombre d'étages était renseigné dans le champ "NB_ETAGES", la surface au sol a été obtenue par la formule : Surface au sol=SURFACE / NB_ETAGES
- Si le nombre d'étages était manquant ou nul, mais que la hauteur du bâtiment (champ "HAUTEUR") était disponible, une estimation du nombre d'étages a été réalisée en supposant une hauteur moyenne d'étage de 3 mètres. La formule utilisée, via une requête SQL, était la suivante :

```

CASE
    WHEN "NB_ETAGES" IS NULL OR "NB_ETAGES" = 0 THEN "SURFACE" /
    ("HAUTEUR" / 3)
    ELSE "SURFACE" / "NB_ETAGES"
END

```

Le résultat a été stocké dans un nouveau champ, "surface_m2", représentant ainsi la surface au sol en mètres carrés pour chaque bâtiment.

Enfin, pour estimer la population par bâtiment, nous avons croisé ces données avec la population par IRIS. Chaque bâtiment comportant désormais un "code_iris" hérité de la jointure spatiale, il a été possible de répartir la population globale de chaque IRIS entre les bâtiments qu'il contient. La méthode adoptée repose sur le nombre de logements :

1. Calculer le nombre total de logements par IRIS :

$$\text{TOTAL_LOGEMENTS_IRIS} = \text{somme}(\text{NB_LOGEMENTS} \text{ par CODE_IRIS})$$

2. Attribuer une population estimée à chaque bâtiment en fonction du poids relatif de ses logements par rapport au total de l'IRIS :

$$\text{POP_BATIMENT} = \text{POP_IRIS} \times (\text{NB_LOGEMENTS} / \text{TOTAL_LOGEMENTS_IRIS})$$

Cette approche, bien qu'estimative, permet d'obtenir une répartition cohérente et proportionnelle de la population au sein de chaque bâtiment résidentiel. Les résultats ainsi obtenus serviront dans les prochaines étapes de l'analyse, notamment pour croiser ces données avec l'accessibilité aux espaces verts et déterminer combien d'habitants se situent à différentes distances de ces zones de respiration urbaine.

Lors de la vérification des résultats, une anomalie flagrante est apparue dans l'estimation de la population par bâtiment. Si la moyenne, avoisinant 30 habitants par bâtiment résidentiel, semblait cohérente avec la densité urbaine parisienne, un maximum étonnant de 3 656 habitants a attiré notre attention. Un tel chiffre, pour un seul bâtiment, soulevait immédiatement des doutes et nécessitait une investigation approfondie.

La première question à se poser était évidente : s'agissait-il d'un gratte-ciel ou d'un ensemble résidentiel de grande hauteur, justifiant une telle concentration d'habitants ? Pour lever le doute, nous avons localisé le bâtiment concerné, situé dans le 13ème arrondissement de Paris, précisément dans l'IRIS nommé "Gare 7". Cependant, en analysant ses caractéristiques, nous avons rapidement constaté qu'il ne comptait que 84 logements — un nombre incompatible avec une population aussi élevée. Même dans le cas d'une forte densité, il était impossible qu'un tel immeuble abrite plus de 3 600 habitants.

Face à cette incohérence, il était nécessaire de mettre en place une méthode fiable pour détecter et corriger ces anomalies. L'utilisation d'un script Python dans QGIS s'est alors imposée comme une solution pertinente. L'idée était de parcourir l'ensemble des bâtiments et d'identifier ceux présentant des valeurs aberrantes, en s'appuyant sur deux critères :

- Un ratio habitants/logement supérieur à 4 — sachant qu'une moyenne réaliste tourne autour de 2 à 3 habitants par logement.
- Une population par bâtiment excédant 2 000 habitants — un seuil déjà très élevé pour Paris.

Le script permettait non seulement de repérer ces anomalies, mais aussi de les corriger automatiquement en recalculant la population sur la base d'un ratio moyen de 2,5 habitants par logement.

Voici un aperçu du script utilisé :

```
# Importation des modules nécessaires
import processing
from qgis.core import QgsProject, QgsVectorLayer

# Charger la couche des bâtiments
joindre_les_attributs_par_localisation_iris_vers_batiment =
QgsProject.instance().mapLayersByName("Bâtiments")[0]

# Définition des seuils anormaux
RATIO_MAX = 4.0 # Plus de 4 habitants par logement est suspect
POP_MAX = 2000 # Population max réaliste pour un bâtiment

# Début de l'édition des données
joindre_les_attributs_par_localisation_iris_vers_batiment.startEditing()

# Parcours des entités (bâtiments)
for feature in joindre_les_attributs_par_localisation_iris_vers_batiment.getFeatures():
    pop_batiment = feature["POP_BATIMENT"]
    nb_logts = feature["NB_LOGEMENTS"]
    # Vérifier si le nombre de logements est valide (>0)
    if nb_logts and nb_logts > 0:
        ratio_hab_logement = pop_batiment / nb_logts
    else:
        ratio_hab_logement = 0
    # Détection des anomalies
    if pop_batiment > POP_MAX or ratio_hab_logement > RATIO_MAX:
        print(f"Anomalie détectée sur le bâtiment {feature.id()}: {pop_batiment} habitants, ratio {ratio_hab_logement}")
    # Correction appliquée
```

```

new_pop = min(nb_logts * 2.5, POP_MAX)

feature["POP_BATIMENT"] = new_pop

print(f"Correction : nouvelle population = {new_pop}")

# Mettre à jour les données

batiments_layer.updateFeature(feature)

#sauvegarde des modifications
joindre_les_attributs_par_localisation_iris_vers_batiment.commitChanges()

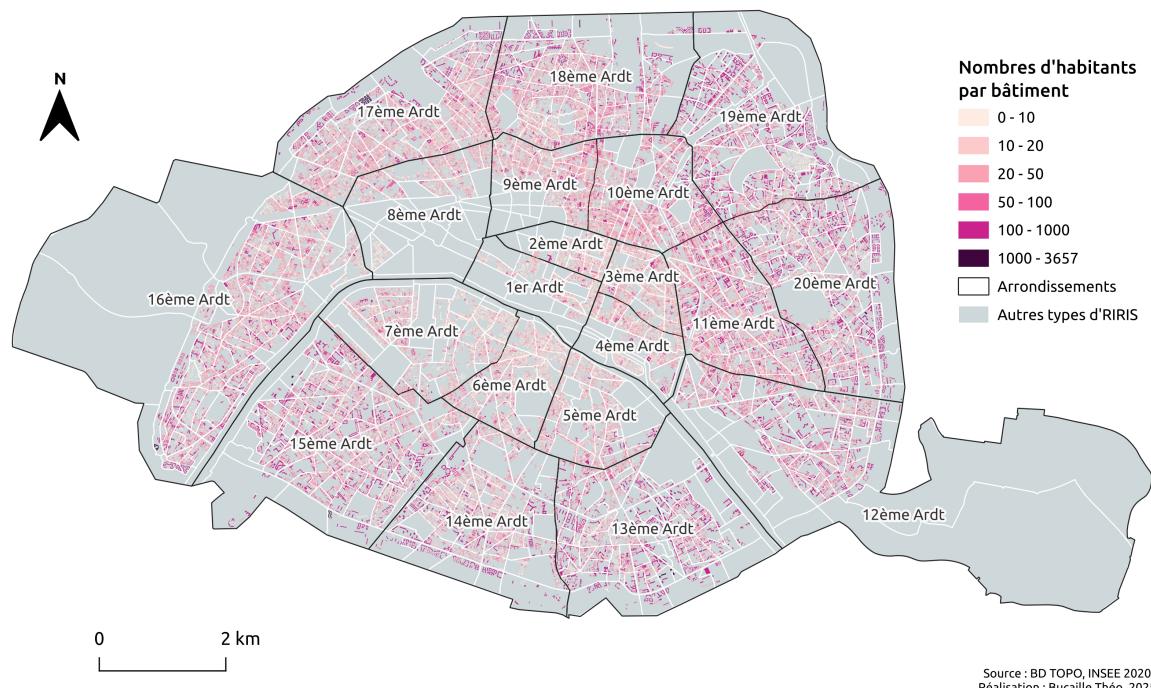
print("Correction des anomalies terminée")

```

Bien que je n'ai pas réussi à faire fonctionner pleinement ce script, je suis convaincu qu'il constitue une approche solide pour identifier et ajuster les valeurs aberrantes. Une fois les corrections effectuées, il devient possible de s'appuyer sur des données fiables pour poursuivre les analyses géospatiales et mieux comprendre la répartition réelle de la population par bâtiment à Paris.

Cette étape de vérification et de correction est cruciale : sans elle, les analyses ultérieures, notamment celles portant sur l'accessibilité des espaces verts en fonction de la population, est un peu faussé. Cette étape garantit donc la robustesse et la crédibilité des résultats finaux.

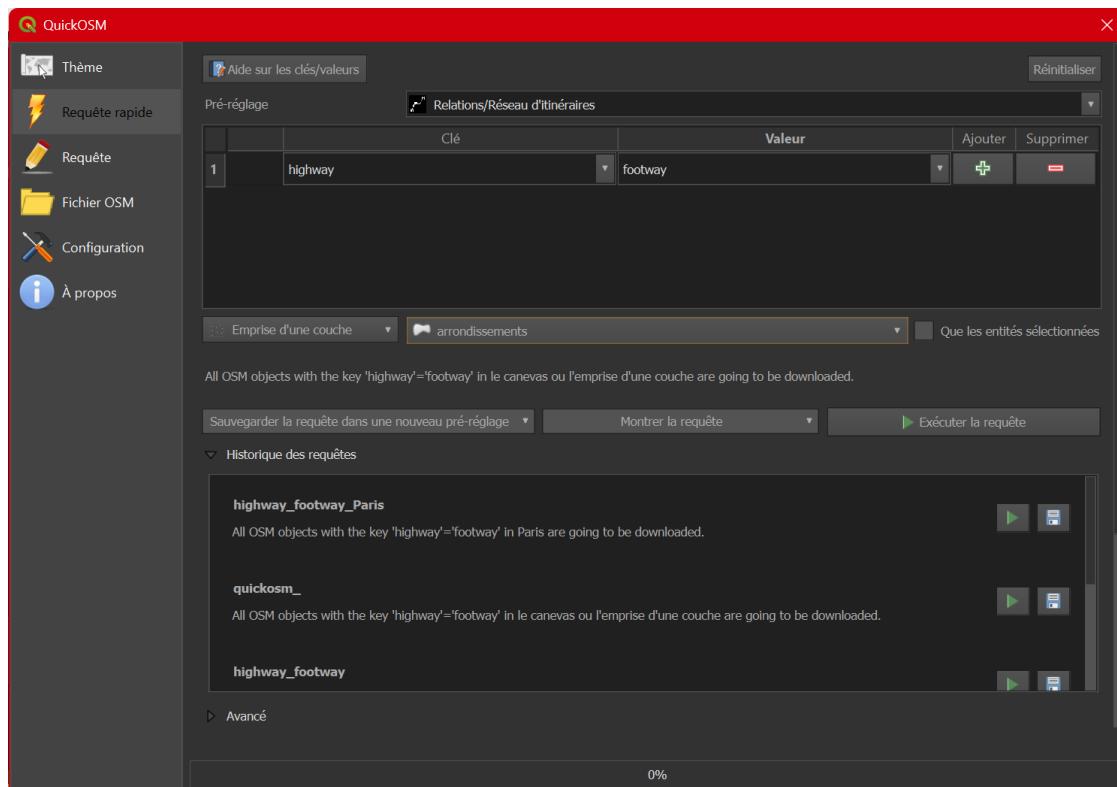
Répartition de la population Parisienne par bâtiment résidentiel en 2023



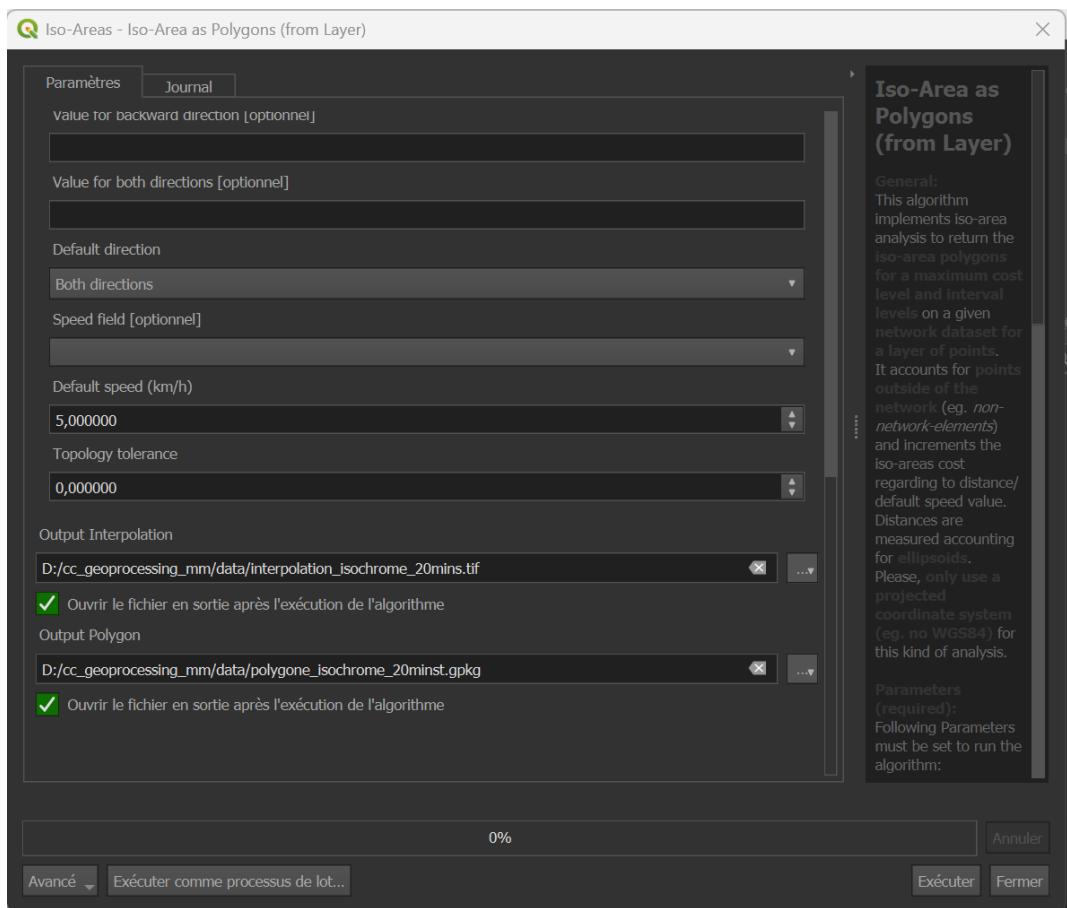
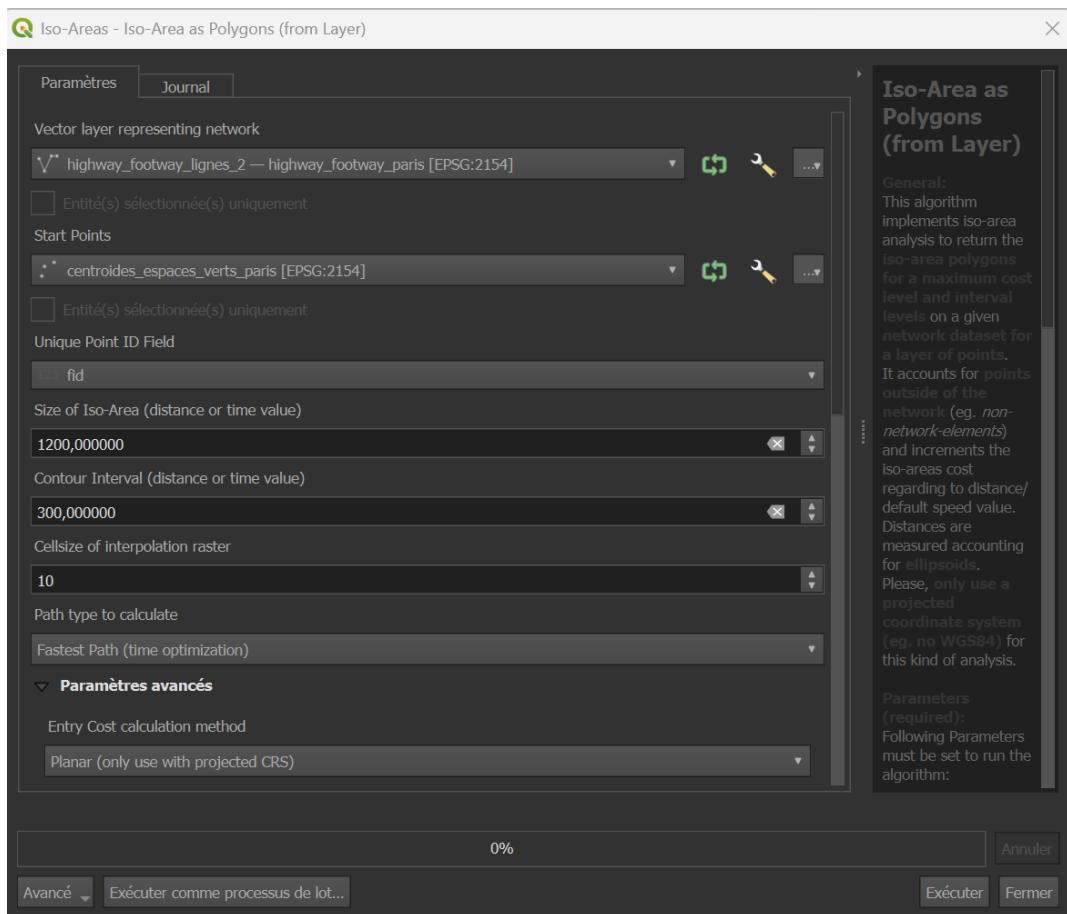
La troisième carte réalisée dans le cadre de cette étude avait pour objectif d'estimer le nombre d'habitants se trouvant dans différentes zones de temps d'accès aux espaces verts, en tenant compte du réseau routier et des itinéraires piétons. Pour cela, nous avons utilisé l'extension QNEAT3 dans QGIS, qui permet de générer des isochrones piétons et de croiser ces zones avec la répartition de la population issue des bâtiments résidentiels.

La première étape a consisté à préparer les données nécessaires. Nous avons d'abord récupéré une couche des espaces verts et, conformément aux choix méthodologiques précédemment détaillés, nous avons sélectionné uniquement les espaces verts paisibles de plus de 2 000 m² et certains types d'espaces verts. Pour calculer les isochrones, il était nécessaire de représenter ces espaces verts par un point central. Ainsi, nous avons généré des centroïdes de chaque espace vert, qui ont servi de points de départ pour les calculs de temps de trajet.

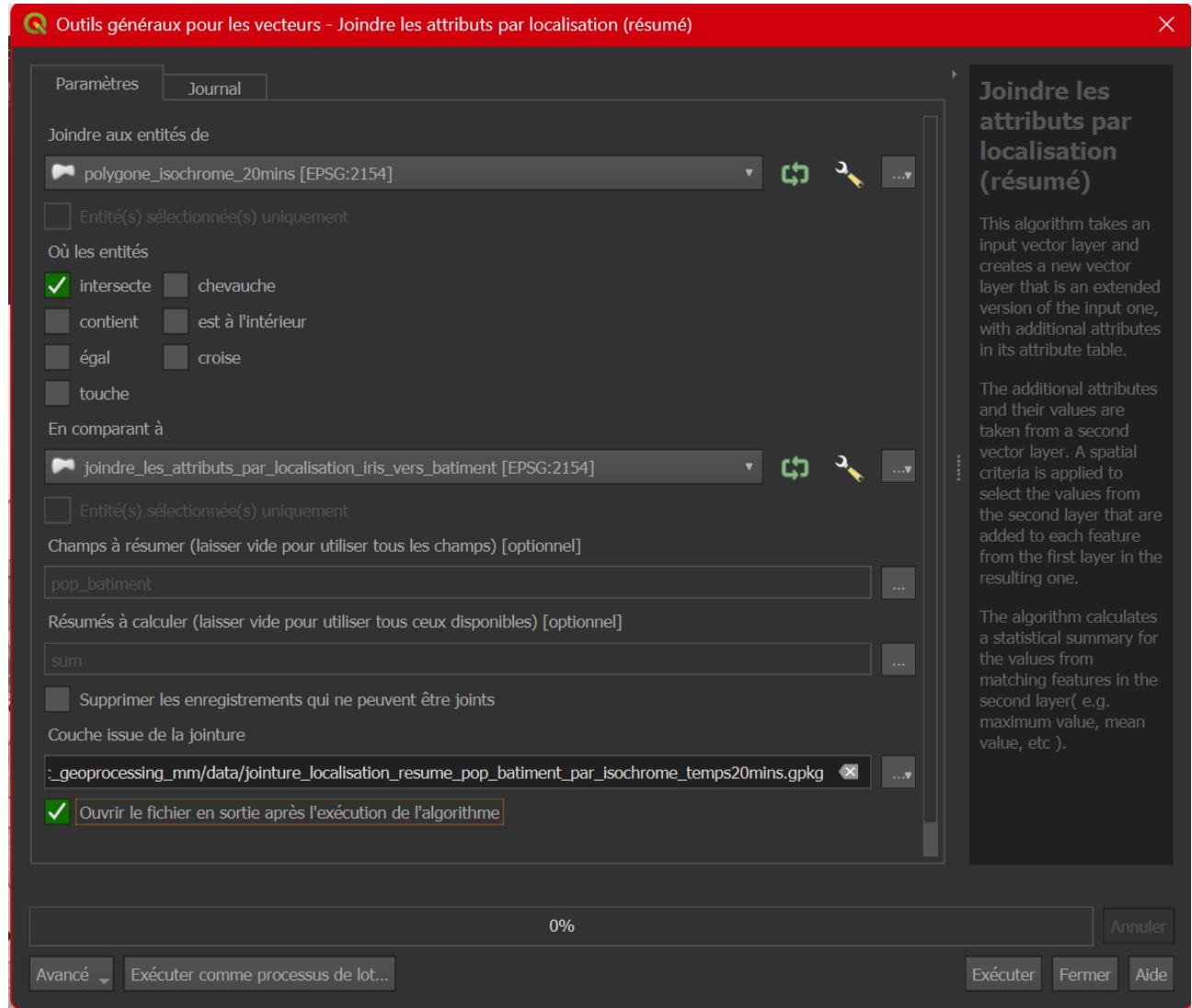
Le réseau piéton a ensuite été intégré grâce à l'outil QuickOSM. En utilisant le pré-réglage *Relations/Réseau d'itinéraires*, nous avons extrait les rues praticables à pied en sélectionnant les voies dont la clé "highway" portait la valeur "footway". Cette couche du réseau piéton a été essentielle pour modéliser des déplacements réalistes, basés sur les infrastructures existantes, et ainsi produire des isochrones conformes aux possibilités de mobilité urbaine.



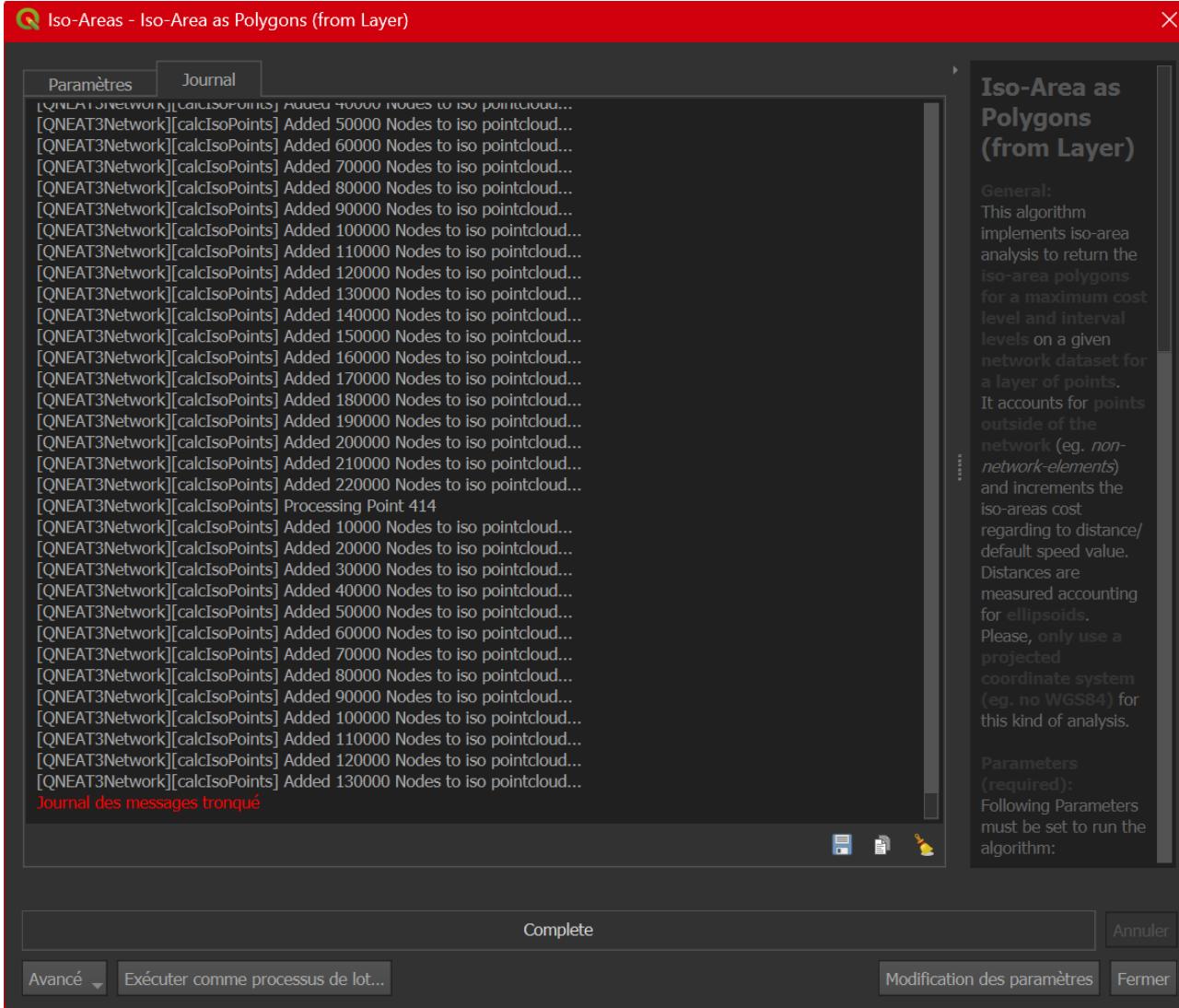
Le calcul des zones isochrones piétonnes s'est fait avec le traitement "Iso-Area as Polygons" de l'extension QNEAT3. Ce traitement permet de créer des zones de temps de trajet en prenant en compte le réseau de rues et les vitesses moyennes de déplacement. Nous avons généré des zones correspondant à différents temps d'accès aux espaces verts, par exemple, 5, 10, 15 et 20 minutes à pied afin de mieux comprendre comment la distance influence l'accessibilité à ces espaces.



Une fois les isochrones établis, nous avons procédé au calcul de la population présente dans chaque zone de temps d'accès. Pour ce faire, nous avons utilisé le traitement "Joindre les attributs par localisation (résumé)". Cette jointure spatiale a permis de croiser les isochrones avec la couche des bâtiments résidentiels, en effectuant une somme sur le champ "pop_batiment". Le résultat final donnait une estimation du nombre d'habitants pouvant accéder aux espaces verts dans des délais précis, reflétant ainsi les inégalités potentielles en termes d'accès à ces lieux de nature.

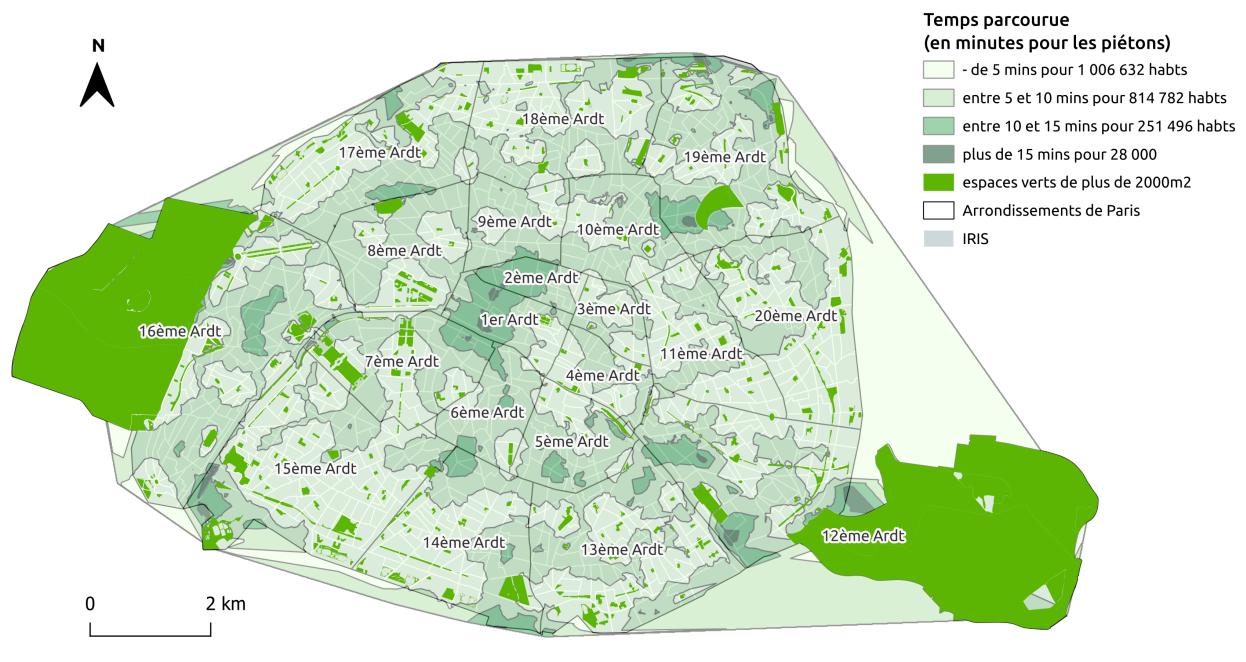


Cependant, nous avons rencontré certaines limites techniques lors de ces traitements. Lors de la création des isochrones basés sur le temps de trajet depuis les espaces verts, le processus s'interrompait systématiquement au niveau du 414ème point, sans que nous parvenions à résoudre complètement ce problème. Cette contrainte a entraîné des données incomplètes pour certaines zones, notamment à l'ouest du 16ème arrondissement, où les isochrones n'ont pu être générés correctement. Par conséquent, les calculs de population associés à ces zones de temps d'accès sont partiellement biaisés et ne reflètent pas avec exactitude la réalité locale.



Malgré ces difficultés, cette carte offre une lecture intéressante de l'accessibilité aux espaces verts dans Paris, mettant en lumière les écarts entre quartiers et les défis que pose la densification urbaine. Elle souligne également la nécessité de poursuivre les recherches et d'affiner ces analyses, en améliorant les outils de calcul et en intégrant, si possible, des données plus précises sur la mobilité réelle des piétons dans la capitale.

Temp parcourue par les parisiens vers les espaces verts les plus proche



Commentaire et interprétation des résultats

L'analyse menée met en évidence une réalité complexe et contrastée quant à la relation entre la densification urbaine et l'accessibilité aux espaces verts à Paris. En croisant les données de population par IRIS, les bâtiments résidentiels et les zones isochrones piétonnes, nous avons cherché à quantifier combien d'habitants peuvent accéder à des espaces verts d'une superficie supérieure à 2000 m² dans différents délais de marche, tout en prenant en compte la structure réelle du réseau routier.

Les résultats révèlent d'abord des écarts frappants en termes de densité de population. Les quartiers les plus denses, comme le 11ème arrondissement, affichent des densités dépassant les 600 habitants par ha² dans certains IRIS, avec un pic particulièrement élevé dans l'IRIS "Folie Méricourt", où la densité atteint 658 habitants par hectare. Ces chiffres illustrent clairement la pression démographique extrême exercée sur ces territoires. À l'inverse, des secteurs de l'ouest parisien, notamment dans le 16ème arrondissement, présentent des densités bien plus modérées, souvent en dessous des 200 habitants par hectare. Ces écarts témoignent d'une répartition inégale de la population au sein même de la ville et posent déjà une première problématique : plus un quartier est densément peuplé, plus ses espaces verts sont sollicités, ce qui aggrave leur saturation et réduit la possibilité pour les habitants de profiter d'un cadre naturel paisible.

L'interprétation devient encore plus riche lorsqu'on s'intéresse à la répartition de la population par bâtiment résidentiel. En moyenne, nous avons estimé que chaque bâtiment héberge environ 30 habitants, une valeur globalement cohérente avec la taille moyenne des immeubles parisiens. Toutefois, certaines anomalies sont apparues, à commencer par un cas frappant dans le 13ème arrondissement, dans l'IRIS "Gare 7", où un bâtiment de seulement 84 logements a été attribué une population de 3656 habitants. Un tel chiffre, bien au-delà du seuil raisonnable, montre les limites du processus d'attribution automatique de la population selon le nombre de logements. Cette anomalie met en évidence les difficultés liées aux agrégats statistiques : les données par IRIS, bien que précises à l'échelle de ces petites unités géographiques, peuvent conduire à des distorsions lorsqu'elles sont appliquées mécaniquement à une échelle plus fine, comme celle des bâtiments.

Ce biais est particulièrement préoccupant lorsqu'on s'intéresse à l'accessibilité aux espaces verts. L'objectif était de calculer combien d'habitants se trouvent dans différentes zones de temps d'accès (5, 10, 15 et 20 minutes de marche) autour des espaces verts sélectionnés. Grâce à l'extension QNEAT3 et l'utilisation des isochrones piétons, nous avons pu spatialiser cette accessibilité, mais les résultats témoignent là encore d'inégalités marquées.

D'après nos calculs, 47,91 % des Parisiens vivent à moins de 5 minutes de marche d'un espace vert, ce qui traduit une proximité relativement bonne pour près de la moitié de la population. Ce chiffre montre l'importance des nombreux petits parcs, squares et jardins répartis dans la ville. Cependant, cette accessibilité diminue sensiblement avec la distance : 38,78 % des habitants sont situés entre 5 et 10 minutes de marche, tandis que 11,97 % doivent parcourir entre 10 et 15 minutes. Plus inquiétant, 1,33 % des Parisiens résident à plus de 15 minutes à pied du premier espace vert significatif, révélant l'existence de véritables « déserts verts » dans certains secteurs.

Ces chiffres traduisent une disparité marquée selon les quartiers. Si certains arrondissements centraux et bien pourvus, comme le 11e arrondissement, affichent des densités très élevées, atteignant jusqu'à 589 habitants par hectare, ils bénéficient néanmoins d'un maillage relativement dense de petits espaces verts, garantissant une accessibilité rapide pour une grande partie des habitants. En revanche, d'autres quartiers présentent un accès plus limité comme le 1^{er} et le 2^{ème} arrondissement qui pour la majeure partie de leurs habitants devront effectuer plus de 10/15 minutes de marches afin d'accéder à un espace vert.

L'analyse révèle également une fragmentation spatiale des espaces verts. Si Paris bénéficie de grands parcs historiques, le Bois de Boulogne et le Bois de Vincennes cumulant à eux seuls environ 2000 hectares, leur concentration aux marges de la ville nuit à leur accessibilité pour une majorité de Parisiens. En revanche, les espaces verts intra-muros sont souvent de taille réduite et parfois fragmentés, comme les nombreux squares et jardins publics qui, bien que précieux, n'offrent pas toujours un cadre de tranquillité comparable à celui de grands parcs.

Ces limites sont accentuées par les contraintes techniques rencontrées lors des traitements géospatiaux. Lors de la création des isochrones, le processus s'est interrompu au niveau du 414^{ème} point, laissant certaines zones, notamment dans l'ouest du 16^{ème} arrondissement, partiellement analysées. Ce problème technique a biaisé certains résultats et montre une difficulté majeure dans l'utilisation des outils SIG : si ces derniers permettent des analyses précises, ils restent conditionnés par la qualité des données, il est possible de prendre l'exemple la précision des données du réseau routier et piétons utilisées. Les capacités des algorithmes utilisés sont aussi un facteur important.

Enfin, les résultats ouvrent la porte à une réflexion plus large sur la pression foncière exercée par la densification urbaine. Plus Paris se densifie, notamment autour des projets du Grand Paris Express, plus la tension entre la création de nouveaux logements et la préservation des espaces verts devient palpable. Certains arrondissements, déjà fortement construits, n'ont que peu de marges de manœuvre pour ajouter de nouvelles zones végétalisées, ce qui pose la question de stratégies alternatives comme la végétalisation des toits, le développement des jardins partagés ou la création de micro-forêts urbaines.

En somme, notre analyse met en évidence une double inégalité spatiale : une surfréquentation des espaces verts dans les quartiers densément peuplés et une accessibilité restreinte dans certains secteurs. Ces résultats rappellent que la justice environnementale ne peut être dissociée de la planification urbaine et que toute politique d'aménagement durable devra concilier les impératifs de densification avec ceux du bien-être écologique et social.

Conclusion et perspectives

L'étude menée met en lumière les tensions qui existent entre la densification urbaine et la préservation des espaces verts dans une métropole aussi compacte que Paris. Elle révèle des disparités importantes en matière d'accessibilité aux espaces naturels, souvent au détriment des quartiers les plus peuplés, où la pression foncière réduit les opportunités de création de nouveaux espaces verts.

Ces résultats soulignent la nécessité d'une planification urbaine plus équilibrée, qui ne se limite pas à préserver les grands parcs historiques, mais qui cherche également à multiplier les espaces végétalisés de proximité. Les jardins partagés, les toitures végétalisées ou encore les micro-forêts urbaines apparaissent comme des pistes concrètes pour pallier le manque d'espaces verts dans les quartiers denses.

Au-delà des constats immédiats, cette analyse ouvre la voie à plusieurs perspectives de recherche géographique.

D'une part, il serait pertinent d'affiner ces résultats en intégrant davantage de données dynamiques sur les flux de population, en tenant compte non seulement des habitants, mais aussi des travailleurs et des touristes qui fréquentent certains quartiers et influencent la pression sur les espaces verts. Des données comportementales seraient tout aussi importante, des habitants peuvent éviter certains espaces verts pour le manque de sécurité et/ou de tranquillité.

D'autre part, une analyse plus poussée pourrait explorer le temps réel d'accès aux espaces verts en intégrant les données issues des réseaux de transports publics et des aménagements cyclables. Cela permettrait d'obtenir une vision plus globale et réaliste de l'accessibilité, en dépassant le simple prisme de la marche à pied.

Enfin, il serait intéressant de croiser ces résultats avec des données environnementales, la qualité de l'air, la température locale et la biodiversité afin de mieux comprendre comment les espaces verts jouent un rôle écologique au sein du tissu urbain parisien et comment ces effets varient selon les quartiers.

En somme, cette étude montre que la densification urbaine à Paris pose un véritable défi pour la préservation des espaces verts et l'équité en matière d'accès à ces derniers. Elle met également en évidence les limites techniques et méthodologiques qui peuvent influencer les résultats géospatiaux, appelant ainsi à une approche rigoureuse et critique dans l'utilisation des outils SIG. Pour un aménagement urbain plus durable, les décideurs publics devront conjuguer des stratégies innovantes de verdissement et une planification réfléchie qui tienne compte des besoins croissants des habitants pour un cadre de vie plus sain et apaisé.

Annexe

Les réseaux piétons de quickOSM :

