



ESPACES VERTS ET BIODIVERSITÉ DANS LES HAUTS-DE-SEINE

Le cas de quelques
communes carencées

Mai 2019

*Rédigé par
Elise Moullec,
Héloïse Louiset,
Pierre Salmeron et
Irène Nenner*



**FRANCE NATURE
ENVIRONNEMENT**

ILE-DE-FRANCE

Environnement 92
16 rue de l'Ouest
91200 Boulogne Billancourt

Adresse de messagerie : environnement92@gmail.com
Site internet : <https://environnement92.fr/>

Espaces verts et biodiversité dans les Hauts-de-Seine

Le cas de quelques communes carencées

Elise Moullec, Héroïse Louiset, Pierre Salmeron et Irène Nenner

Mai 2019

Résumé

L'adaptation aux changements climatiques dans la zone dense de la région parisienne pose la question de la préservation et du développement des espaces verts, seuls espaces de fraîcheur en cas de canicule (Le GIEC prévoit des pointes de température de plus de 50°C en été à l'horizon 2050 en région parisienne). L'occurrence d'une fréquence accrue de gros orages et d'inondations justifie de dés-imperméabiliser les sols et d'augmenter la surface des espaces verts en pleine terre. Ceci est d'autant plus crucial que dans les zones urbanisées très denses, les effets d'îlots de chaleur croissant, la surface d'espaces verts accessibles par habitant est déjà en dessous des normes de l'OMS, c'est-à-dire 10 m² par habitant minimum et accessibles à moins de 15 min à pied, normes reprises dans le Schéma Directeur Régional d'Île-de-France (SDRIF). On parle de communes carencées dont il faut réduire le nombre comme le stipule le Plan Vert de la région Île-de-France voté en février 2017. Par ailleurs l'enjeu de biodiversité est fortement lié à celui du climat. Le futur Schéma de Cohérence Territoriale de la Métropole Grand Paris devra donc fournir des préconisations liées aux enjeux d'urbanisme et de la Trame Verte et Bleue.

Le diagnostic détaillé des espaces verts en zone dense à une résolution spatiale suffisante n'est pas disponible (le Mode d'Occupation des Sols – MOS 2017 les recense de manière non exhaustive) et la définition des espaces verts n'est pas un concept partagé par les collectivités. C'est pour ces raisons que des cartes des espaces végétalisés ont été produites à haute résolution spatiale, à partir de photographies aériennes (photographies aériennes prises en 2014 et images satellites prises en 2016) du département des Hauts-de-Seine et de quelques communes. Une analyse détaillée est fournie pour trois communes carencées : Boulogne-Billancourt, Bagneux et Bourg-la-Reine, sachant que sur les 36 communes du département, 22 sont carencées. La carte des espaces verts des Hauts-de-Seine produite à partir des images satellites et avion, à très haute résolution (50 cm) montre que l'occupation des sols est dominée par le milieu non végétalisé (52,7%). Le reste est réparti entre la strate herbacée (1,8%), la strate arbustive (13,9%) et la strate arborée (31,6%). Les cartes de végétation des villes sélectionnées montrent suffisamment de détails pour apercevoir les arbres d'alignement et les petits jardins privés ou publics. Seules les pelouses artificielles (stades) et les zones d'eau (la Seine) ont fait l'objet de photo-interprétation. La haute résolution des cartes a permis une évaluation du nombre et des surfaces des espaces verts plus proche de la réalité dans ces communes, montrant que leur total par commune est supérieur de 10 à 40 ha aux totaux communaux issus des données du MOS 2012. Celles-ci omettent 27 ha pour Boulogne-Billancourt, soit 4,5% de la surface de la commune, 10,82 ha pour Bagneux, soit 2,58 % de la commune, 37,62 ha pour Bourg-la-Reine, soit 20,23% de la surface de la commune. Ces différences sont principalement dues aux jardins privés (individuels et collectifs) de petite surface, (1000 à 5000 m²) dont l'importance est essentielle pour établir une trame verte en pas japonais, ou servir de maillon d'une trame continue à réaliser.

Des enquêtes de terrain sur des espaces verts, sélectionnés par échantillonnage dans trois des communes carencées dont la cartographie de la végétation a été précisée pour fournir une base de données de référence sur l'utilisation des sols, ont permis de démontrer la diversité de la flore des jardins urbains entre 1000 et 5000 m² (flore d'intérêt pour les pollinisateurs). Un classement des espaces verts urbains d'intérêt pour la biodiversité ordinaire est proposé ainsi qu'un nouvel indice, dérivé de l'indice BioMos (Biodiversité – Mode d'occupation des Sols) établi par Liénard et Clergeau en 2011, au service des politiques publiques d'urbanisme et d'aménagement en Île-de-France. Cet indice (entre 0,8 et 0,1) permet de pondérer les surfaces de chaque espace vert en fonction de sa biodiversité potentielle et de fournir des ratios de surfaces d'espaces verts par habitant, incluant la dimension de biodiversité. Enfin les ratios de surfaces d'espaces verts publics et ouverts au public par habitant ont été estimés pour comparaison avec les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Cette étude doit être considérée comme une première étape pour tenter d'objectiver la question des espaces verts en zone urbaine et de fournir des chiffres incontestables de surface d'espaces verts par habitant et dans le futur de valoriser la biodiversité dans les documents d'urbanisme. La poursuite de cette étude sur les autres communes carencées de département, devrait permettre de valider la méthode et d'en étendre l'utilisation sur d'autres territoires.

Table des matières

1. Contexte et objectifs du travail	4
1.1. Les enjeux des espaces verts en milieu dense	4
1.2. La végétation et la biodiversité en milieu urbain	8
1.3. La cartographie de l'utilisation du sol en Île-de-France à partir d'images aériennes	10
1.4. Les données de base du travail de cartographie	11
1.5. L'étendue de l'étude	12
1.6. Les objectifs de l'étude	13
2. Les méthodologies utilisées lors de la première approche	13
2.1. Méthodologie développée à partir des images satellite	13
2.2. Méthodologie développée pour les photographies aériennes	20
3. Les cartes de la végétation	21
3.1. La carte de la végétation des Hauts-de-Seine en 2016	22
3.2. Les cartes de la végétation de quelques communes en 2014	23
3.3. Comparaison avec les données de l'APUR	29
4. Méthodologies utilisées lors de la seconde approche	30
4.1. Méthodologie de la cartographie des espaces verts objets d'enquêtes de terrain à partir de photographies aériennes	30
4.2. Méthodologie du choix des terrains objets d'enquêtes pour l'étude du potentiel de biodiversité des espaces verts	31
4.3. Méthodologie des relevés de terrain	34
4.4. Méthodes d'analyse des résultats de terrain	34
5. La couverture végétale et la carte des espaces verts de trois communes carencées selon la typologie adaptée du MOS en 81 postes et bilan BioMos	35
5.1. Bagneux	35
5.2. Bourg-la-Reine	41
5.3. Boulogne-Billancourt	47
5.4. Visibilité des alignements d'arbres et des très petits espaces verts	51
6. Statistiques des relevés de terrain de la flore	53
6.1. Nombre moyen d'espèces par espace	56
6.2. Indice de diversité bêta	56
7. Calcul d'un indice BioMos à partir de la cartographie des espaces verts	56
7.1. L'indice BioMOS : Définition et adaptation	56
7.2. Proposition d'une réévaluation des indices des catégories d'habitat correspondant aux catégories du MOS 81 à partir de l'enquête de terrain	58
7.3. Indices BioMOS des trois communes carencées objet de l'enquête de terrain	58
7.4. Estimation de la « surface d'espaces verts publics et ouverts au public par habitant »	62
8. Conclusions	62
Annexes	
A. Nomenclature du Mode d'occupation sols (MOS) en 81 postes	64
B. Comparaison des indices BiomOS calculés dans ce travail avec les indices publiés par la DREIA Île-de-France en 2010	69
Table des figures et liste des tableaux	70
Références	72
Cartes en format A3, de Bagneux, Bourg la Reine et Boulogne-Billancourt	74

Préambule

La présente étude est le résultat d'un partenariat entre Environnement 92 et le Pôle image de l'UFR Géographie, Histoire, Économie et Sociétés, Université Diderot-Paris 7, notamment avec les Enseignants-chercheurs Catherine Mering et Etienne Grésillon, respectivement responsables des stages (niveau master 1) d'Élise Moullec et Héloïse Louiset. Le présent rapport est élaboré à partir des rapports de stage suivants :

- Cartographie par télédétection de la végétation des Hauts-de-Seine - Application au cas du territoire des Hauts-de-Seine par Elise Moullec du 26 juin 2018,
- Étude des cas des communes de Bagneux, Bourg-la-Reine et Boulogne-Billancourt par Héloïse Louiset du 27 juin 2018.

Pierre Salmeron, Président de Sud environnement et vice Président d'Environnement 92 d'une part et Irène Nenner, Présidente de Chaville Environnement et d'Environnement 92 d'autre part, ont assuré le rôle de tuteurs de stage. L'étude a été réalisée de mars à juin 2018.

Un travail complémentaire de collecte de données, d'analyse et de production de tableaux et cartes sur les espaces verts, a été effectué.

L'équipe universitaire a bénéficié de l'accès aux données de l'Institut Géographique National (IGN) et de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Île-de-France (IAURIF).

1. Contexte et objectifs du travail

1.1. Les enjeux des espaces verts en milieu dense

Les luttes contre le réchauffement climatique et contre la perte de biodiversité représentent deux enjeux particulièrement prégnants en Île-de-France, notamment dans la zone dense. En effet le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) (GIEC 2019), annonce que le réchauffement global va probablement atteindre 1,5°C entre 2030 et 2052, s'il continue à la vitesse actuelle. À ce réchauffement s'ajouteraient des pluies torrentielles, la perte d'habitats naturels pour la faune et la flore et bien d'autres calamités.

La densification urbaine aggrave les effets du changement climatique puisqu'elle produit des effets d'îlots de chaleur définis par l'écart de température observé entre la ville et la campagne qui peut atteindre 6°C (Foissard 2015).

Pour faire face au changement climatique la loi sur la transition énergétique de 2015 vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 40% à l'horizon 2030.

Mais la réduction des émissions de GES d'origine anthropique, ne suffira pas. Il faut en même temps agir sur les capacités de la nature à absorber le carbone. Les arbres et le sol vivant sont des puits de carbone qui contribuent à diminuer la quantité de CO₂ atmosphérique et donc une arme contre le réchauffement climatique. Il est à noter que des études récentes menées sur une large population d'arbres de taille croissante, montrent que la capacité à absorber le carbone croît avec la taille de l'arbre (Stephenson et al. 2014). Ceci encourage évidemment à préserver les grands arbres aussi bien dans les espaces boisés que dans les zones urbaines.

Les espaces de nature au sens large sont indispensables pour la santé (physique et mentale) et le bien-être des habitants. La présence de nature en ville permet notamment de réduire le niveau de stress observé, de favoriser l'activité physique entraînant une réduction des symptômes cardiovasculaires, des troubles respiratoires et de la mortalité associée. (Laïlle, Provendier et Colson 2014). Pour l'ensemble de ces raisons sanitaires, l'OMS recommande aujourd'hui la préservation d'un minimum de 10m² d'espaces verts par habitant accessibles en moins de 15min à pied. En effet, cette superficie et cette proximité suffit à rendre sensibles et mesurables les effets positifs de la nature sur les populations (WardThompson et al. 2016). Généralement

les forêts, les parcs, les espaces de nature sont aussi des lieux de loisirs, de détente de sport (voir figure 1.1, un paysage des forêts franciliennes).



Fig. 1.1 : Chemin en forêt

Ils sont particulièrement appréciés des citoyens de plus en plus nombreux à se promener en forêts ou dans des espaces de nature. La circulaire du 8 février 1973 du Ministre délégué auprès du Premier ministre chargé de la Protection de la nature et de l'environnement, relative à la politique d'espaces verts (J. O. du 22/2/1973, pp. 1974 à 1979 affirme que **25 m² d'espaces de fin de semaine par habitant (forêts péri-urbaines etc.) sont nécessaires et s'ajoutent aux 10 m² d'espaces verts de proximité communaux**, ce qui impose une limite à la population de la métropole.

L'abondance et la distribution spatiale de la végétation ont été reconnues comme un facteur influençant la qualité de l'air et de l'eau, la température, l'humidité ou encore le régime des précipitations (Tooke et al. 2009. En effet, les arbres sont une arme contre la pollution de l'air, l'ozone et les métaux lourds.

Les espaces verts sont aussi des espaces nécessaires à la préservation de la biodiversité. Les lois Grenelle 1 et 2 imposent la création des trames vertes et bleues pour permettre une meilleure reproduction de la faune et de la flore et donc préserver leur biodiversité (Liénard et Clergeau 2011). En milieu urbain, la connectivité entre les taches d'habitats est primordiale (Crombette, Corre et Tinel 2014). Une trame verte en "pas japonais" peut convenir au déplacement de certaines espèces mobiles et généralistes et donc à leur survie.

De ce fait, le maintien, la préservation voire le développement des espaces verts et de la nature en ville devient un enjeu majeur pour les pouvoirs publics. Il s'agit alors pour les aménageurs et les différents acteurs du territoire de penser les espaces verts de façon différente, c'est à dire

d'un point de vue multifonctionnel pour que ces espaces jouent des rôles multiples au sein du tissu urbain (Lotfi et al. 2017). Les espaces verts urbains doivent en effet répondre aujourd'hui aux enjeux environnementaux (biodiversité, climat, pollutions), mais aussi aux enjeux sanitaires (santé, bien-être mental), aux enjeux esthétiques (attractivité des territoires, patrimoine), tout en conservant une fonction récréative.

La situation des espaces verts et de nature au sens large, en Île-de-France, est très contrastée : les espaces de nature représentent 31% de la surface totale du territoire selon le Plan Vert de la région Île-de-France (RI dF 2017) mais leur répartition est disparate avec un déficit de ces espaces en zone dense. On parle de communes carencées, selon l'IAU, dès lors qu'elle ne répond pas à la norme de 10 m² d'espace vert disponible par habitant et accessible en moins de 15 mn à pied, normes proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé et reprises par le Schéma Directeur de la Région Île-de-France (SDRIF) (IAU 2015).

Le document de référence régional pour la mise en œuvre de la stratégie régionale pour la biodiversité (développement et restauration et de la Trame Verte et Bleue) est le Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE) publié en 2013 (RI dF 2013) et en cours de révision en 2019. L'approche de la Trame Verte et Bleue dans le SDRIF diffère de celle du SRCE. Une meilleure intégration du SRCE dans le SDRIF lors de sa révision, dans les Schémas de Cohérence territoriaux (SCoT) et les Plans Locaux d'Urbanisme intercommunaux (PLUi) en conditionne le respect. À titre d'exemple, le SRCE recense certaines ruptures des continuités écologiques par les infrastructures de transport, comme cela est illustré dans la figure 1.2.



Fig. 1.2 : Vue aérienne de la forêt de Meudon à la sortie du tunnel du tramway T6 à Vélizy

La carte de la région parisienne publiée par l'IAU dans le Plan Vert de la région Île-de-France (plan de mise en œuvre du SDRIF en ce qui concerne les espaces verts), montre un fort contraste entre la région dense et les reste de la région. La situation du département des Hauts-de-Seine est aussi contrastée puisqu'on compte 22 communes carencées (dont Argenteuil du Val d'Oise rattachée à l'Établissement public Territorial (EPT) T5 de la Métropole Grand Paris) sur un

total de 37, réparties dans la zone nord et sud du département (voir figure 1.3).

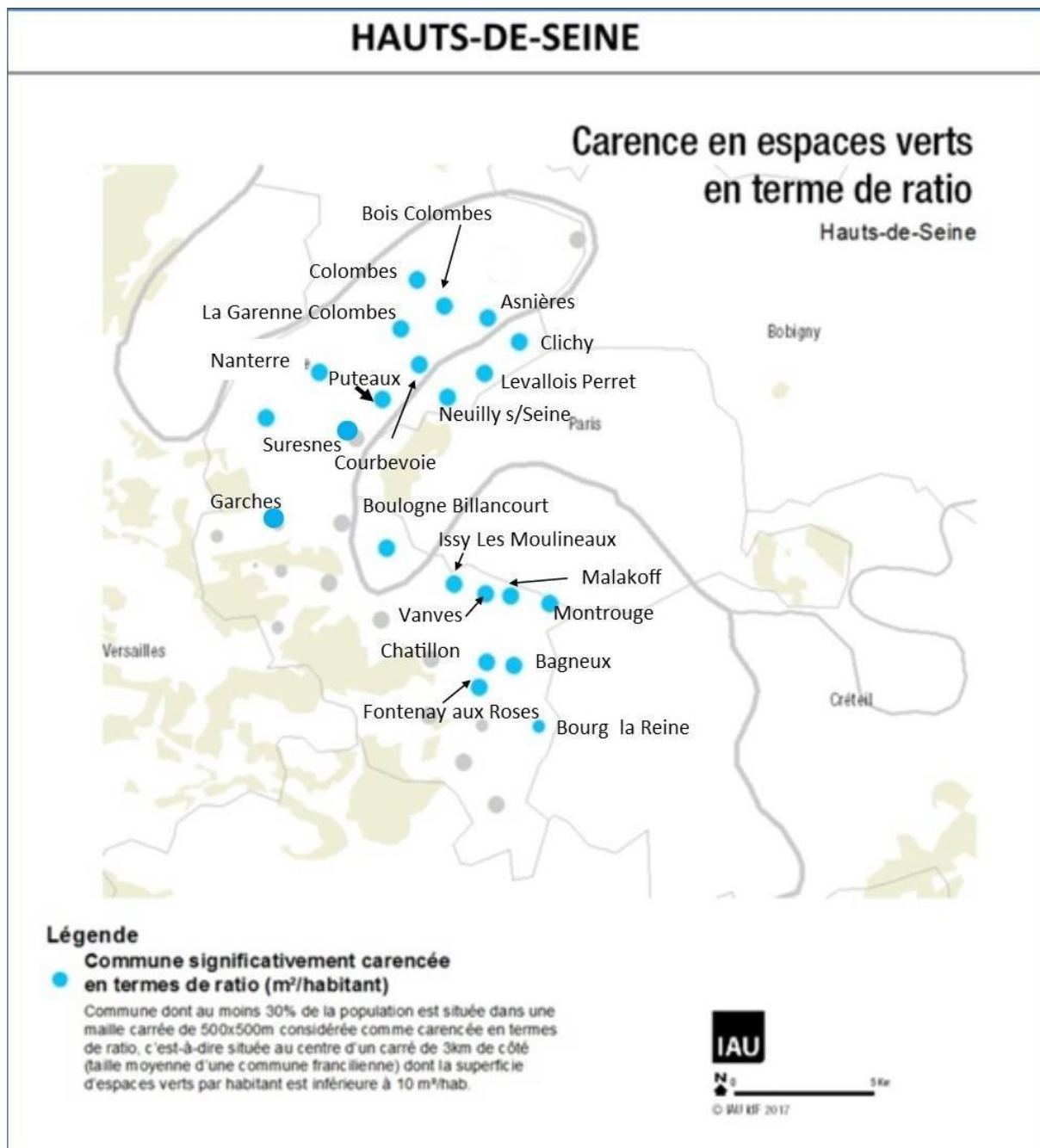


Fig. 1.3 : Communes carencées dans les Hauts-de-Seine ; Source : Plan Vert de l'Île-de-France, IAU 2017

Une vue aérienne d'une partie de la ville de Boulogne-Billancourt (figure 1.4) montre ce que représentent les espaces verts dans une commune carencée.



Fig. 1.4 : Vue aérienne d'une partie du centre de Boulogne-Billancourt ; source IGN 2014

Le Plan Vert de la Région Île-de-France de 2017 se donne pour ambition de relancer prioritairement la création d'espaces verts et boisés dans les espaces carencés où elle est en panne depuis 15 ans et de créer l'équivalent du bois de Boulogne en nouveaux espaces verts et boisés d'ici la fin de la mandature. Il est donc intéressant d'examiner plus en détail la situation des espaces de nature et les pistes pour construire une trame verte dans les communes carencées du département des Hauts-de-Seine.

1.2. La végétation et la biodiversité en milieu urbain

La ville ou le milieu urbain de façon générale est considéré comme un espace majoritairement minéral, en opposition avec les espaces de nature. De ce fait, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, la biodiversité était absente des villes (Clergeau et Machon 2014). C'est lors de la période hygiéniste que les parcs urbains ont été construits et que de nombreux arbres d'alignement ont été plantés.



Fig. 1.5 : Avenue du Château à Meudon ; photographie Irène Nenner

Aujourd'hui avec l'abandon progressif des pesticides dans l'entretien des espaces verts urbains, la nature peut de nouveau s'installer au cœur de la ville. La ville est maintenant considérée comme un « nouveau système écologique » avec ses propres règles de fonctionnement et ses propres communautés végétales et animales.

Tout d'abord les températures sont plus élevées en milieu urbain du fait du phénomène d'îlot de chaleur urbain, étudié à de nombreuses reprises notamment à Paris (Cantat 2004 ; Escourrou 1990). De la même façon les vents et la couverture nuageuse ainsi que les précipitations connaissent des spécificités à l'échelle d'une agglomération. Les pollutions sont également nombreuses en ville et peuvent être de différents types : pollution atmosphérique, pollution lumineuse, pollution sonore et contribuent largement à perturber ou à modifier le comportement des espèces en ville, aussi bien du point de vue de leur implantation que de leurs déplacements (Clergeau et Machon 2014). Les sols urbains sont généralement pollués mais sont aussi plus secs et plus compacts lorsqu'ils ne sont pas imperméabilisés ou résultant de l'utilisation de gravats. Ces caractéristiques conditionnent largement les espèces qui vont être en capacités de s'adapter à ce

milieu. Enfin, en ville les zones d'habitats naturels ou semi-naturels sont peu nombreuses et fragmentées ce qui conduit à une homogénéisation des espèces observées (McKinney 2006), principalement des espèces généralistes (espèces ayant la capacité de s'adapter à différents milieux, au contraire des espèces spécialistes).

Pour les écologues, la ville n'est pas considérée comme un écosystème à part entière mais comme un complexe d'écosystèmes ayant chacun leurs propres jeux d'espèces et facteurs du milieu. Ainsi, dans cette logique les grands parcs et jardins, les zones de lotissements, les jardins individuels, les sites industriels représentent chacun un écosystème constitutif du complexe d'écosystèmes urbain. En ville, on trouve de nombreuses espèces horticoles ou domestiques qui sont en interaction avec les espèces sauvages. Par exemple, les plantes horticoles comme le géranium contribuent à la pollinisation. Le chat, espèce domestiquée, est le principal prédateur en ville, ce qui implique des conséquences sur un certain nombre d'espèces d'oiseaux sauvages ou de rongeurs. Certaines espèces nichent dans des habitats spécifiques (cavités dans les murs, les anfractuosités sous les toits, les interstices dans la voirie etc.). Des interactions se sont donc créées entre les différents types d'espèces que l'on retrouve en ville, on ne peut dès lors plus considérer uniquement les espèces sauvages dans l'étude de la biodiversité urbaine. Cependant du fait des déséquilibres et des fortes perturbations induites par l'homme (introduction d'espèces exotiques envahissantes, refus des populations de voir certains animaux comme le sanglier, s'implanter près des habitations etc.), la biodiversité urbaine ne peut pas atteindre le même niveau de fonctionnement que dans des complexes d'écosystèmes plus naturels.

Ainsi les espaces privilégiés de la biodiversité en ville sont les espaces verts, appelés « espaces à caractère naturels » d'après le terme adopté par les écologues, mais aussi sur les anciens murs, les interstices dans la voirie (Clergeau et Machon 2014). Cette biodiversité peut être augmentée en privilégiant des techniques naturelles et la plantation d'espèces locales.

A ces observations, on peut ajouter que généralement, les arbres d'alignement peuvent faire office de corridor écologique pour la faune et les parcs sont des tâches d'habitats créant ainsi une trame verte. Dans les zones denses, les jardins privés accolés en cœur d'îlot des zones pavillonnaires sont un apport pour la biodiversité compte tenu de leur place considérable. Ces jardins servent de corridor en pas japonais entre les tâches d'habitat, pour la faune (Liénard et Clergeau 2011 ; Riboulot-Chetrit 2015). Toutefois, du fait de leur caractère privé, les jardins sont soumis au bon vouloir du jardinier amateur d'adopter ou non, des techniques préservant la biodiversité.

Les murs et toits végétalisés sont une forme récente de la végétation, adoptés au siècle dernier pour introduire la nature en ville. Ils ne sont pas véritablement efficaces contre l'effet d'îlot de chaleur urbain et ne peuvent faire office de petits îlots de fraîcheur dans les zones sans parcs mais contribuent par contre à l'isolation des bâtiments (Munck 2013). Les façades, et en particulier les toitures végétalisées, présentent un intérêt en termes de biodiversité. Si les toitures sont construites avec une épaisseur de terre suffisante, elles peuvent favoriser une diversité d'espèces d'invertébrés et de plantes. La variabilité topographique et floristique des toits contribue également à la diversité des oiseaux, des insectes et des araignées (Djedjig 2013 ; Valette, Cordeau et Magdelaine 2010). Toutefois, la hauteur des bâtiments, au-delà de 12 m, même végétalisés, est une limite à la circulation des insectes (Clergeau et Machon 2014).

1.3. La cartographie de l'utilisation du sol en Île-de-France à partir d'images aériennes

L'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (IAU) et l'Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR) sont les organismes qui produisent des cartes relatives à l'urbanisme pour les pouvoirs publics en Île-de-France.

L'APUR étudie et cartographie la végétation d'Île-de-France depuis plus de 10 ans. Tous les quatre ans, depuis 2005, l'APUR acquiert des données constituées de photographies aériennes, d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et d'un Modèle Numérique d'Élévation (MNE),

fournies par InterAtlas. À partir des clichés aériens sont extraites les zones végétalisées, par télédétection. Puis, avec la différence entre les deux modèles numériques sont discernées les strates végétales. Ainsi, l'APUR fournit une carte distinguant les étagements de la végétation. De plus, les études pluriannuelles offrent la possibilité de suivre les variations et les changements d'occupation du sol par la végétation. Ces cartes ont permis de faire ressortir les îlots ayant moins de 30% d'espaces végétalisés, ce qui est considéré comme insuffisant. En mettant ces résultats en regard du nombre d'habitants, il a été possible d'évaluer la qualité de vie des citoyens et de mettre en évidence les territoires carencés en végétation (Besse et Blancot 2016).

L'IAU a également réalisé des travaux pour cartographier les espaces verts, et plus globalement, l'occupation du sol. Il est important de souligner que ces études sur l'occupation du sol traitent prioritairement du milieu bâti, dont elles offrent une analyse très précise. L'inventaire numérique de l'occupation du sol de l'Île-de-France, appelé Mode d'Occupation du Sol (MOS), regroupe l'ensemble des informations géographiques dont dispose l'IAU et est renouvelé régulièrement depuis 1982. Sa nomenclature a évolué en 2012 pour être compatible avec deux niveaux de l'inventaire biophysique de l'occupation des sols « Corine Land Cover ». Pour le traitement, l'IAU procède non par analyse numérique mais par photo-interprétation avec des photo-interprètes qui viennent d'horizons différents : géographie, urbanisme, agronomie, géologie. Depuis février 2019, le MOS 2017 est disponible et les premières analyses effectuées font état d'une consommation des espaces naturels agricoles et forestiers de 590 ha/an en baisse par rapport à 2012 et d'un léger accroissement (150ha) des espaces verts en petite couronne, notamment dans les Hauts-de-Seine. Dans le présent document les comparaisons ont été faites avec le MOS 2012.

Outre les différences entre les méthodes de traitement des photographies aériennes, des dissimilarités existent également entre les définitions. C'est le point principal relevé dans la présente étude. L'IAU ne comptabilise pas la végétation, mais les espaces verts suivant leurs fonctionnalités en distinguant leur caractère public ou privé (Legenne, Pigato et Maclair 2009). Pour l'APUR, tout espace végétalisé est pris en compte (bois, forêts, parcs, jardins et squares, les zones d'activités agricoles, les espaces naturels ainsi que les plantations d'alignements ou d'accompagnement) et la hauteur de la végétation est étudiée. Les définitions étant différentes, les résultats fournis par les deux organismes le sont également, malgré des données de départ similaires.

1.4. Les données de base du travail de cartographie

Les données accessibles déterminent le travail de cartographie. Ces données sont issues des satellites ou des missions de couverture aérienne.

Chaque satellite se différencie par sa résolution spatiale, spectrale ou encore par son orbite répétitive. L'utilisation des images de satellites à moyenne résolution conduit à sous estimer la végétation urbaine du fait des caractéristiques complexes du milieu (Liu et Yang 2013). C'est pourquoi une majorité d'articles (Crombette, Corre et Tinel 2014 ; Sellin et al. 2015 ; Thunig et al. 2010 ; Tooke et al. 2009 ; Yan et al. 2018) proposent une cartographie par télédétection de la végétation en milieu urbain à partir d'images à très haute résolution. Les meilleurs résultats sont obtenus avec le satellite Worldview-2 dont la résolution spectrale – 8 bandes – permet une meilleure identification des objets en milieu urbain. En effet, elles permettent de discriminer de façon satisfaisante les strates végétales, et les zones d'ombre en milieu urbain hétérogène. Jingli Yan, Weiqi Zhou, Lijian Han et Yuguo Qian soulignent d'ailleurs que ces images pourraient remplacer les données altimétriques Light Detection And Ranging (LiDAR), moins aisément disponibles et coûteuses. Toutefois, l'inconvénient de ce type d'image sont les ombres des bâtiments qui masquent trop souvent l'information recherchée.

A l'inverse des images satellites, les photographies aériennes sont beaucoup moins utilisées dans la cartographie de la végétation par télédétection, malgré un coût inférieur à celui des images à très haute résolution. Ces photographies sont prises à partir d'avions ou de drones qui enregistrent une image en noir et blanc (panchromatique), ainsi qu'une image en couleur (bleu, vert, rouge) ou infrarouge couleur (vert, rouge, proche infrarouge). Ce mode de prise de vue ne

permet pas d'en choisir la date, les photographies aériennes sont souvent données en fonction d'une année ce qui exclut l'analyse saisonnière.

Pour notre étude le choix a été fait d'utiliser une image satellite à très haute résolution, mais la résolution spectrale n'est pas aussi précise que celle de l'exemple mentionné ci dessus. Des photographies aériennes seront également exploitées pour leur résolution spatiale dans l'étude à grande échelle.

1.5. L'étendue de l'étude

La présente étude porte sur les espaces verts au sens large pour le département des Hauts-de-Seine, et avec un complément d'approche terrain pour quelques communes carencées puisqu'il n'était pas envisageable dans le cadre de deux stages de couvrir toutes les communes (voir figure 1.6).

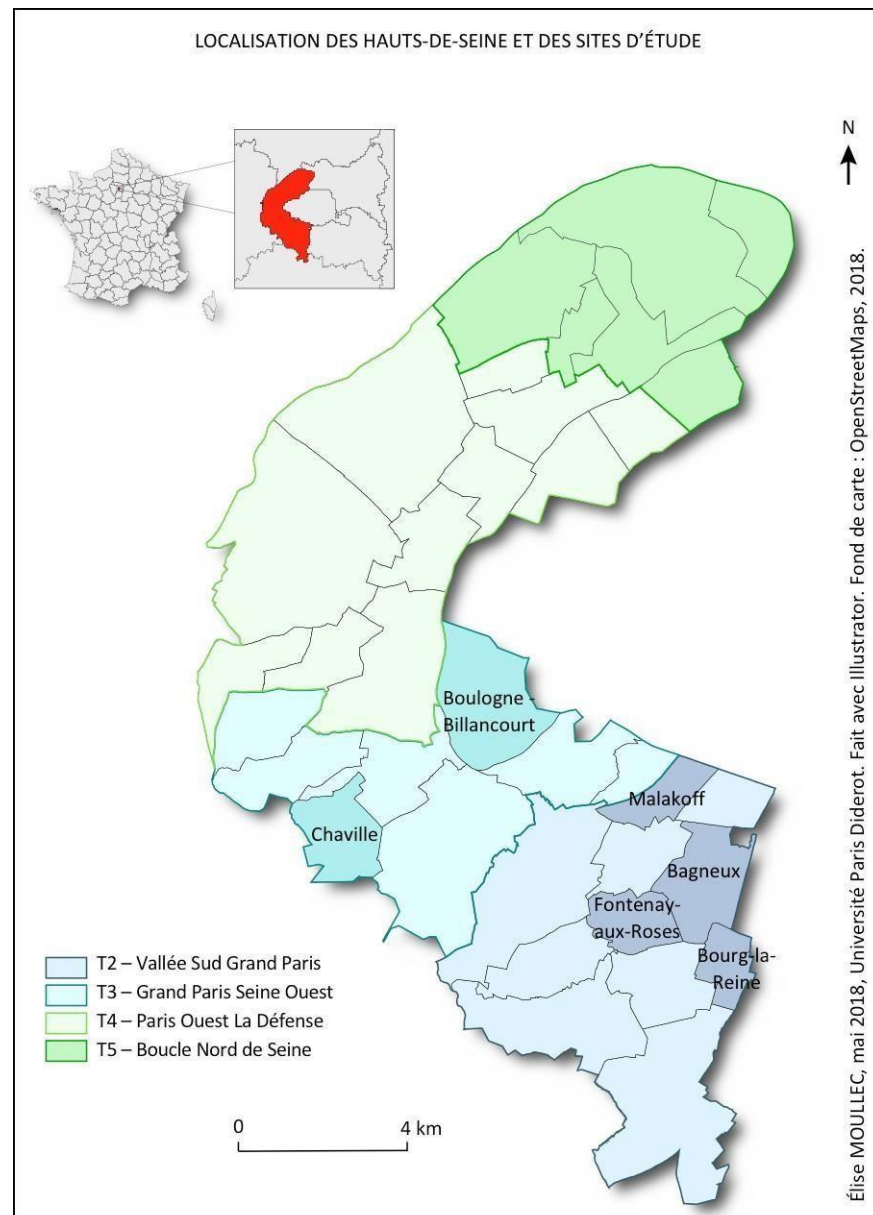


Fig. 1.6 : Localisation des Hauts-de-Seine et des sites de l'étude

Notre objet étant l'évaluation des espaces verts selon leur intérêt pour la biodiversité, nous avons souhaité réaliser une nouvelle étude de la végétation par télédétection pour le département des Hauts-de-Seine en nous affranchissant dans une première approche de la photo-interprétation, qui dépend de la personne qui l'exécute. Toutefois nous avons traité les espaces de gazon artificiel

et l'eau par photo interprétation, ce qui est une exception dans ce travail.

Dans une seconde approche nous avons préparé l'enquête de terrain par la cartographie des espaces verts en les classant dans une nomenclature adaptée du MOS permettant de recalculer l'indice BIOMOS des communes. Dans un second temps nous avons modifié cet indice pour prendre en compte le type de végétation observée et les résultats de l'enquête de terrain.

1.6. Les objectifs de l'étude

Cette étude vise les objectifs suivants :

- Produire une cartographie de la végétation à très haute résolution (<50cm) à partir de données aériennes les plus récentes pour les communes carencées de Bagneux, Bourg-la-Reine, Malakoff et Fontenay-aux-Roses et Boulogne-Billancourt. L'ajout de Chaville (non carencée) a permis de fournir un élément de comparaison. Le cas du territoire T5 particulièrement carencé en espaces verts sera aussi examiné du point de vue de la Trame Verte et Bleue.
- Produire une cartographie des espaces verts à très haute résolution (<50cm) à partir de données aériennes les plus récentes et correspondant aux catégories des espaces végétalisés du MOS, retenues pour le calcul de l'indice BIOMOS, pour les communes carencées de Bagneux, Bourg-la-Reine, Boulogne-Billancourt (Cette seconde cartographie aurait pu s'appuyer sur les résultats de la cartographie de la végétation).
- Établir une classification des espaces verts selon un coefficient de biodiversité à partir d'observations de terrain sur un échantillon de communes carencées du département : Bagneux, Bourg-la-Reine et Boulogne-Billancourt.
- Tirer de ces premiers résultats une stratégie de généralisation de cette première étude, à l'ensemble du département et au-delà dans le but de proposer un référentiel normatif.

2. Les méthodologies utilisées lors de la première approche

Deux méthodologies ont été utilisées pour la cartographie de la végétation en milieu urbain, la première développée à partir d'images satellites SPOT 6/7, et la seconde à partir de photographies aériennes orthorectifiées¹.

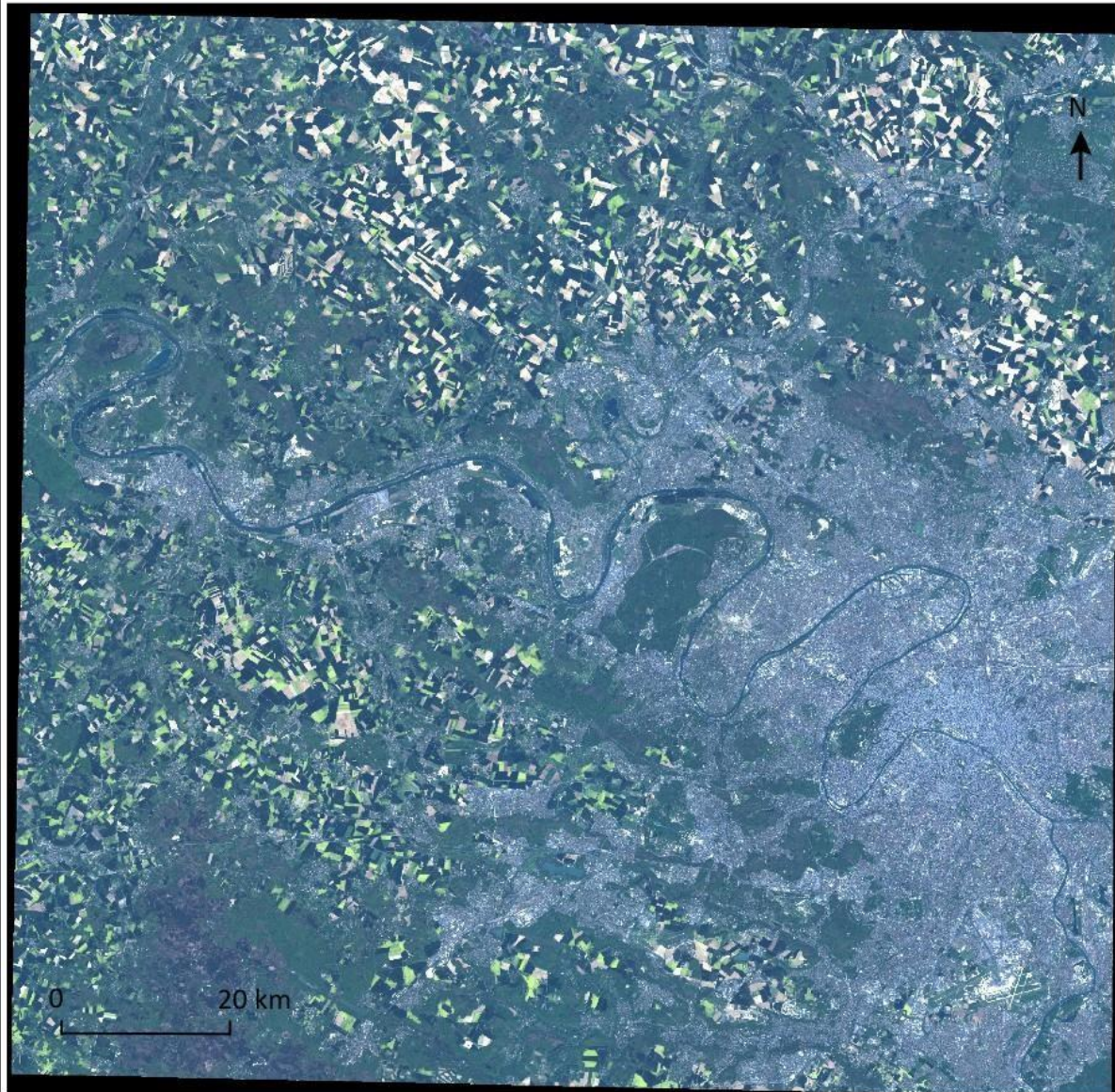
2.1. Méthodologie développée à partir des images satellite

La première approche de cette étude consiste à utiliser les outils de la télédétection fournis par les images satellite et les photos aériennes pour obtenir des cartes de la végétation en évitant au maximum la photo-interprétation.

Les images SPOT 6/7 fournies par GEOSUD, pour l'année 2016 sont codées sur 12 bits par pixel et doivent être recodées avant tout traitement. Les images prises le 5 mai en mode multispectral et panchromatique d'une résolution respectivement 6 m et 2,5 m ont été sélectionnées (voir figure 2.1 un exemple d'image brute Spot 7 en mode multispectral). Un prétraitement permet d'améliorer la résolution spatiale de l'image satellite en appliquant la fonction « Gram-Schmidt Pan Sharpening » pour fusionner les images multispectrales et panchromatiques préalablement découpées en fonction des données vectorielles *Openstreetmap* sur les limites du département (figure 2.2). Lors de cette étape l'algorithme « Nearest Neighbor », qui est le mieux adapté pour la réalisation par la suite d'une classification des modes d'occupation du sol, a été utilisé. La résolution des images délimitées est ainsi portée à 1,5 m (figure 2.3).

¹ L'orthorectification d'une photographie consiste à la recalculer pour la replacer dans la géométrie de projection choisie et la rendre ainsi superposable en tous points à une carte. Les photographies orthorectifiées deviendront alors raccordables, permettant ainsi la réalisation d'une mosaïque. Le résultat pourra alors être utilisé au sein d'un Système d'Information Géographique.

IMAGE BRUTE SPOT 7 EN MODE MULTISPECTRAL DU 5 MAI 2016



Source : GEOSUD SPOT 6/7, 2016.

Fig. 2.1 : Image brute SPOT 7 en mode multispectral du 5 mai 2016 ; Partie Ouest de la région parisienne

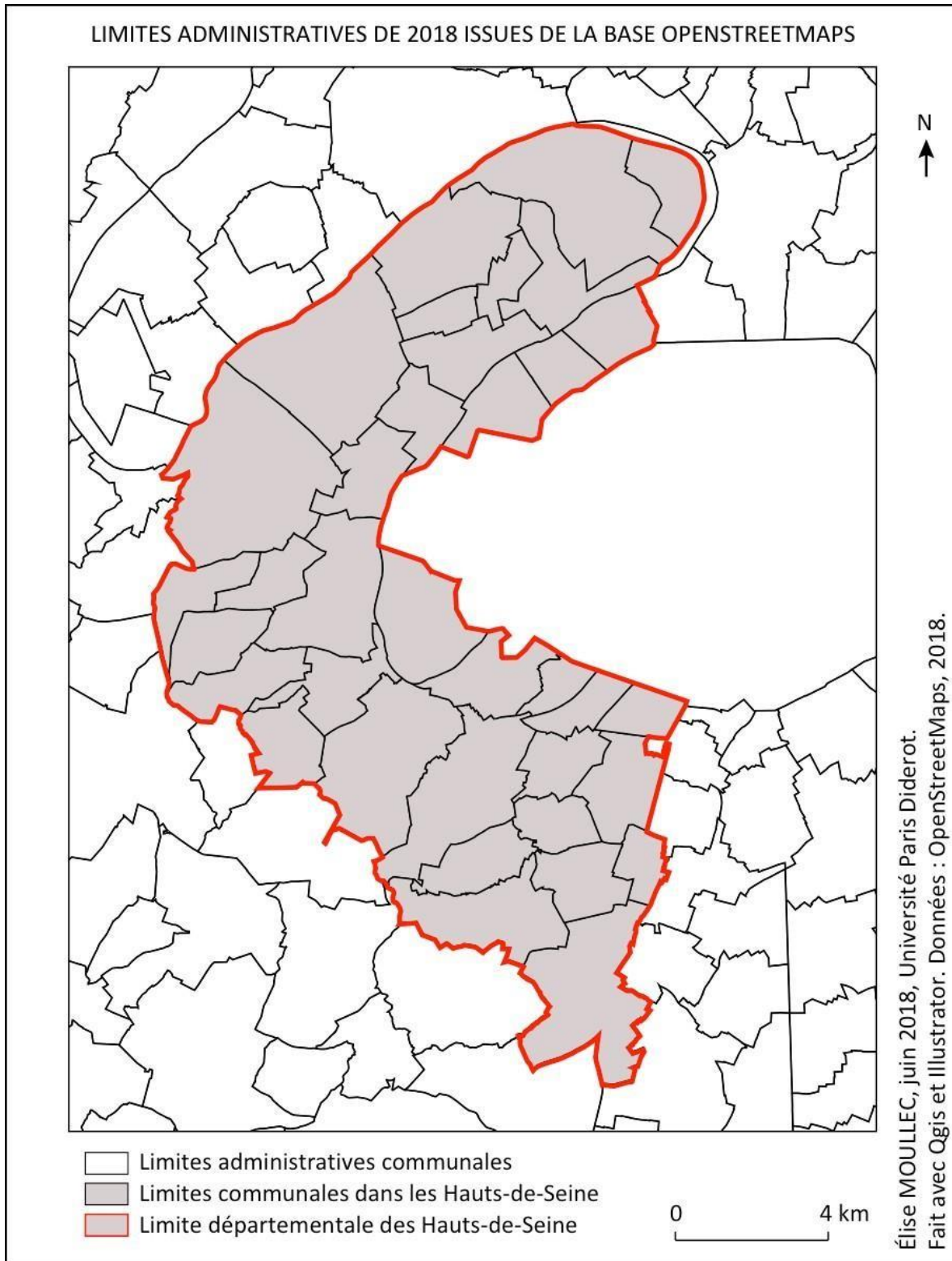


Fig. 2.2 : Limites administratives issues de la base Openstreetmap

IMAGE SPOT 6/7 DONT LA RÉOLUTION EST AMÉLIORÉE À 1,5 M PAR L'APPLICATION DE L'ALGORITHME « NEAREST NEIGHBOR »



Fig. 2.3 : Image SPOT dont la résolution est améliorée à 1,5 m par l'application de l'algorithme « nearest neighbor »

La classification des modes d'occupation du sol elle-même comporte deux étapes Dans un premier temps les milieux végétalisés et non végétalisés ont été séparés.

La production d'une image en niveaux de gris à partir du calcul de l'indice de végétation par différence normalisé (NDVI) permet de réaliser cette opération. Les espaces ayant le plus de chlorophylle sont en blanc, à l'inverse de ceux en noir, tel que l'eau (voir figure 2.4 ci-après). La Seine et les différentes forêts du département sont également reconnaissables.

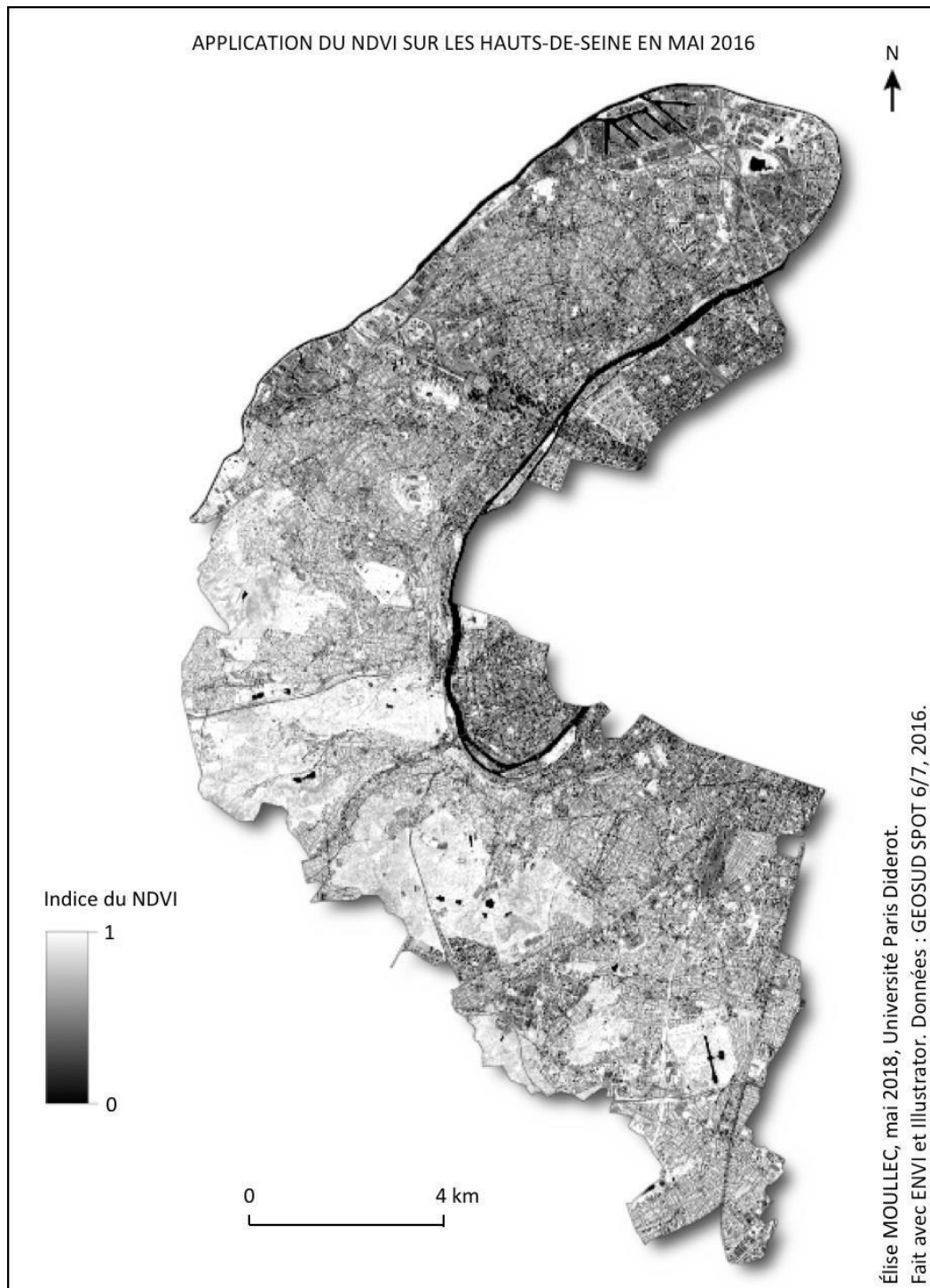


Fig. 2.4 : Application du NDVI sur l'image des Hauts-de-Seine

Dans un second temps et successivement les strates végétales ont été différenciées et le milieu

eau a été distingué du milieu urbanisé.

La discrétisation de l'image résultant du calcul du NDVI par l'algorithme « nuées dynamiques » permet d'obtenir des classes distinctes et non un dégradé de gris. Ces classes sont ensuite analysées en fonction des canaux de l'image satellite. Il est alors possible de distinguer le milieu végétalisé des autres milieux et d'en déduire différents masques afin de les étudier ensuite plus en détails.

Pour les espaces non végétalisés, le milieu bâti et l'eau ont été séparés. La classification non supervisée a été utilisée. L'eau se différenciant des ombres dans le bleu, une classification emboîtée après réalisation d'un masque de la classe combinée a été effectuée.

Pour étudier plus précisément la végétation du département après application du masque de végétation à l'image fusionnée, les indices de texture ont été utilisés sur l'image en niveau de gris de la bande du proche infrarouge pour la cartographie des types de végétation. Un couple d'indices corrélés Homogénéité-PIR a été retenu après essais. Afin de limiter le bruitage une analyse des composantes principales (ACP) a été réalisée sur les combinaisons d'indices (voir figure 2.5).

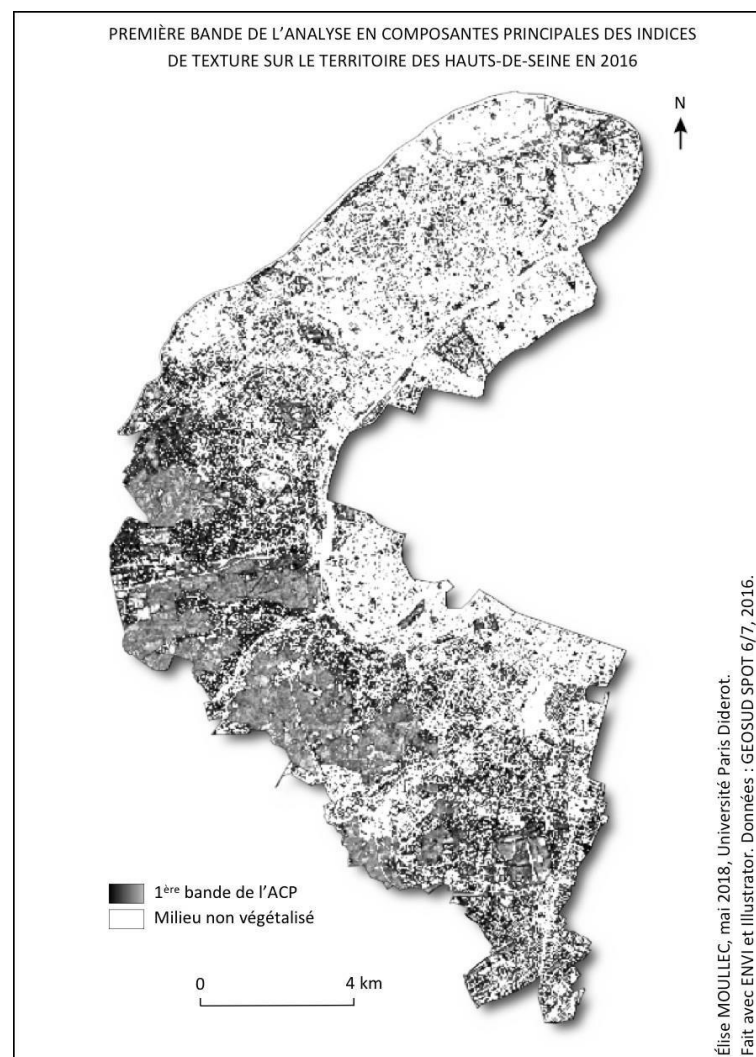


Fig. 2.5 : Première bande de l'ACP des indices de textures sur l'image des Hauts-de-Seine

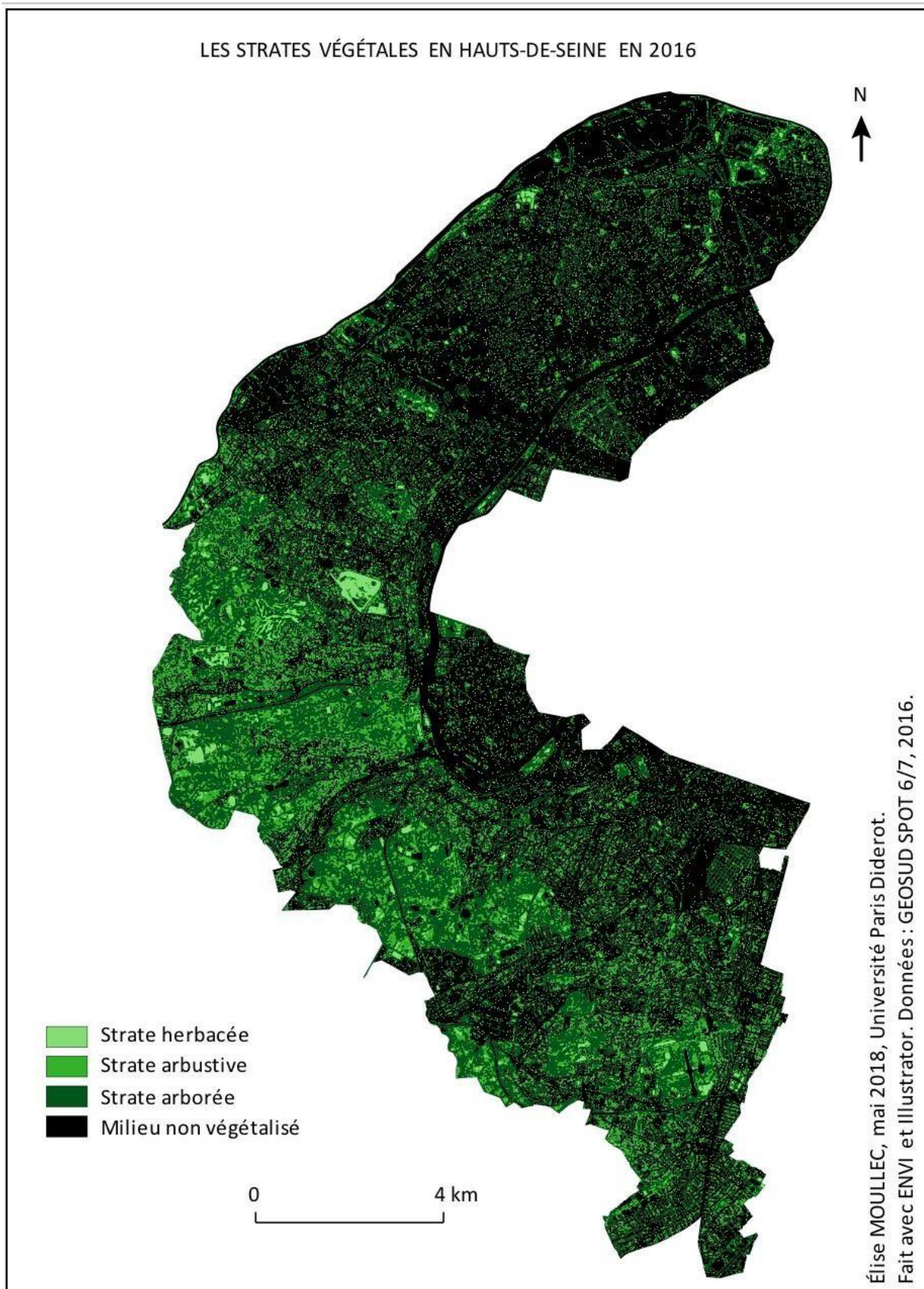


Fig. 2.6 : Strates végétales des Hauts-de-Seine en 2016

Enfin les résultats ont ensuite été validés.

Ainsi le résultat (Cartes 2.6 et 3.1) où les taux de sols végétalisés – 47,3 % – sont proches de ceux obtenus par l'APUR en 2005 – 40,9 % s'en trouve provisoirement validé en attendant la comparaison avec les cartes de 2015.

En l'absence d'informations sur le terrain l'approche par pixel à travers une classification non supervisée était la meilleure option. Le géotraitement choisi permet de regrouper les pixels radiométriquement similaires. Mais pour éviter la confusion de classes qui avaient une signature analogue, des masques ont été utilisés pour réaliser une classification emboîtée. La carte finale (figure 3.1) est l'addition de toutes les classifications.

2.2. Méthodologie développée pour les photographies aériennes

Pour l'étude de l'occupation du sol au niveau communal les images utilisées sont issues de la base de données BD ORTHO de l'IGN dont la résolution est de 50 cm et la projection Lambert 93 pour la France métropolitaine. La bande proche infrarouge permet l'extraction de la végétation.

Sur les photographies aériennes, il n'est pas possible d'extraire directement les communes au format raster, car l'IGN fournit les images par dalle de 1 km x 1 km. Il faut d'abord créer « un raster virtuel » et assembler les dalles correspondant à la commune. L'image de celle-ci est ensuite extraite par découpage de l'image raster.

La première étape à cette échelle, comme pour celle du département, est de différencier le milieu végétal du reste.

L'algorithme de classification par nuées dynamiques est alors appliqué aux communes. Les deux milieux sont différenciés radiométriquement : le milieu végétalisé a une réponse élevée dans le proche infrarouge, à l'inverse du milieu non végétalisé. Ce travail s'effectuant sur des images à très haute résolution et en fonction de la prise de vue, des ombres peuvent être plus ou moins observables. Celles-ci sont alors classées avec le milieu non végétalisé. Ensuite, une fois la distinction effectuée, deux masques sont créés pour chaque commune : un masque milieu végétalisé et un autre, milieu non végétalisé.

L'extraction des zones d'intérêt en milieu non végétalisé, se fait à partir du masque précédemment créé qui est appliqué à l'image en fausses couleurs. Le milieu urbanisé majoritaire dans l'espace communal considéré est associé au milieu non végétalisé. Toutefois, en fonction des communes, deux éléments sont à extraire : les pelouses artificielles et l'eau.

L'identification de la pelouse artificielle et de l'eau a été faite par photo interprétation.

La pelouse artificielle a pu être mise en évidence dans la mesure où la résolution était plus fine et la bande proche infrarouge permettait de distinguer les zones réellement végétalisées (le sol en pleine terre non recouvert de végétation ne peut être distingué d'une pelouse artificielle).

Comme pour l'analyse de l'occupation du sol à l'échelle départementale, les strates de végétation sont déterminées en fonction de leur texture et non, de la hauteur. Pour prendre celle-ci en compte, il faudrait avoir accès à des données altimétriques avec plusieurs retours d'onde. Différentes études ont d'ailleurs combiné des photographies aériennes et données LiDAR : Besse et Rouet 2009, Iovan, Boldo et Cord 2009 ainsi que Rouet 2008. Mais ces données sont souvent chères, en plus d'être rares.

Parmi les relations mises en évidence par la matrice des corrélations réalisée, la triple relation entre homogénéité, second moment et entropie PIR a été retenue après essais.

Cette analyse des textures permet de se défaire des problèmes liés aux ombres de la végétation qui peuvent se manifester lors de télédétection à partir d'images à très haute résolution (Exemple des strates végétales à Bagneux en 2014 - fig 2.7).



Fig. 2.7 : Strates végétales à Bagneux en 2014

La validation résulte de la proximité des résultats obtenus avec ceux de l'APUR.

3. Les cartes de la végétation

Les résultats de l'occupation du sol des Hauts-de-Seine sont présentés, pour le département et les communes de Bagneux, Bourg-la-Reine, Boulogne-Billancourt, Chaville, Fontenay-aux-Roses.

3.1. La carte de la végétation des Hauts-de-Seine en 2016

La carte de la végétation des Hauts-de-Seine, est présentée selon différentes strates, sur la figure 3-1.

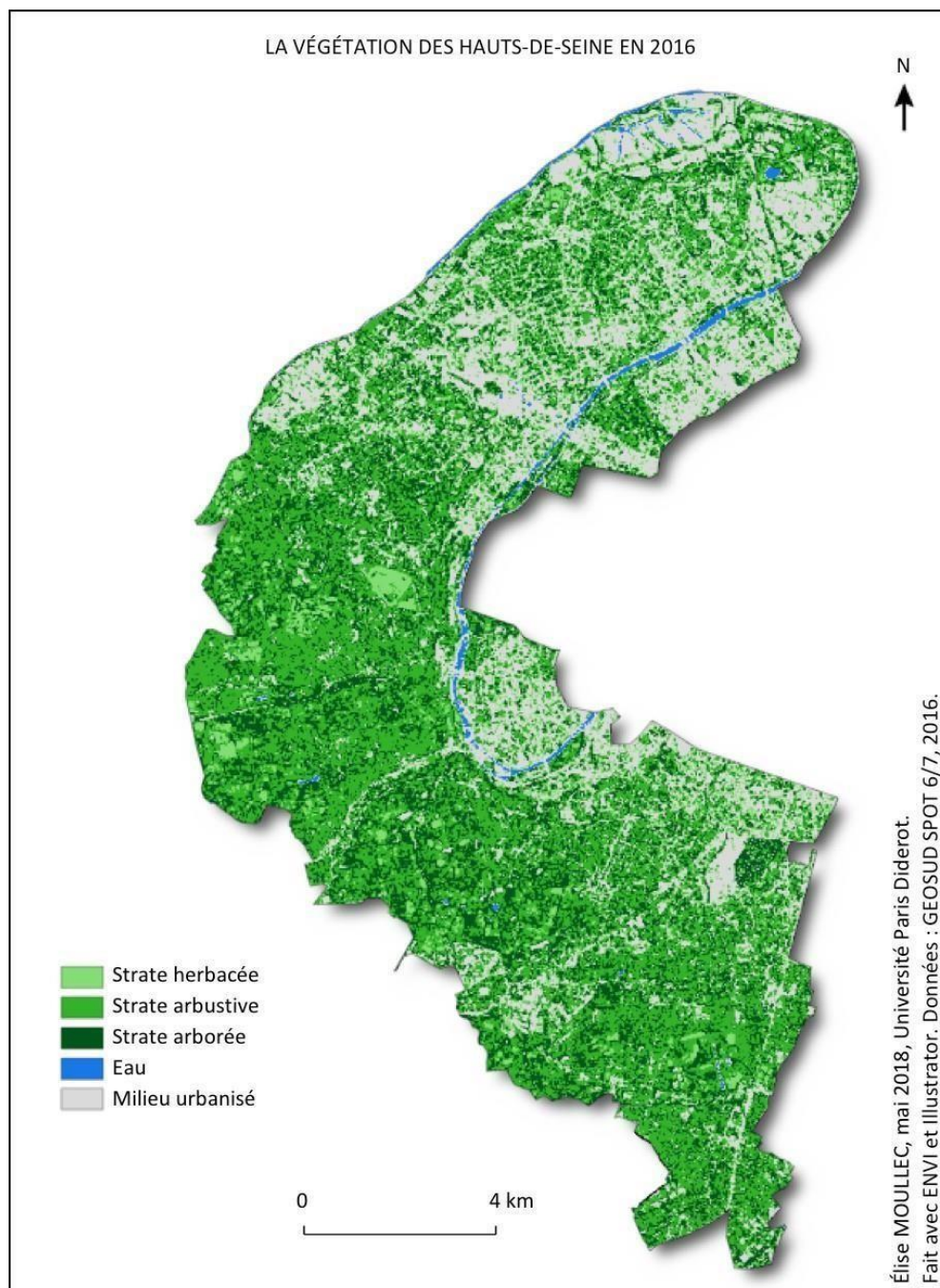


Fig. 3.1 : Carte de la végétation dans les Hauts-de-Seine en 2016

Les données statistiques correspondant à cette carte sont présentées sur le tableau 3.1.

Nature du milieu	Nombre de pixels	Pourcentage (%)	Part de la végétation (%)
Milieu urbanisé et eau	41 141 682	52,7	0
Strate Herbacée	1 417 151	1,8	3,8
Strate arbustive	10 793 223	13,9	29,3
Strate arborée	24 690 282	31,6	66,9
total	78 042 338	100	100

Tab. 3.1 : Données statistiques sur l'occupation du sol des Hauts-de-Seine

Les résultats, qu'ils soient analysés de manière spatiale ou statistique, montrent globalement, une répartition hétérogène des classes d'occupation du sol, sur l'ensemble du territoire. Les espaces non végétalisés recouvrent plus de la moitié de la surface des Hauts-de-Seine. L'urbanisation est plus importante au Nord du département et sur la frange Est bordant Paris. De vastes infrastructures ne laissent aucun espace à la végétation, comme par exemple le port, qui est reconnaissable par les différents embranchements le reliant à la Seine.

Globalement, le département est plutôt bien pourvu en zones végétalisées puisque 47,3% en est couvert. Ce chiffre s'approche des données recueillies par l'APUR en 2005 qui comptabilisait 40,9% de sol recouvert par la végétation (Atelier parisien d'urbanisme, 2008). Cependant, ce taux est à nuancer puisque seules les communes les plus proches de la capitale avaient été étudiées. Il est donc impossible de déterminer si le département a gagné ou perdu en végétation, entre 2005 et 2016.

Les données statistiques du tableau 3.1 montrent que la surface relative de l'ensemble des strates arborées et arbustives domine la végétation (67% et 29% respectivement). La strate herbacée étant très réduite (3,8%). Celle-ci est probablement sous-estimée car les images satellites prennent seulement en compte la partie supérieure de la végétation : l'herbe qui peut être présente sous les arbres n'est pas comptabilisée. De plus, comme les strates ont été cartographiées en fonction de la texture et non de leur hauteur, il est possible que des arbres supérieurs à 8 m soit compris en strate arbustive et inversement. Ces éléments constituent des limites pour l'étude. Les données utilisées pourraient donc être complétées par des données altimétriques, comme l'ont relevé Sellin et al. 2015.

3.2. Les cartes de la végétation de quelques communes en 2014

Les cartes de cinq communes carencées (Bagneux, Bourg la Reine, Boulogne-Billancourt, Malakoff, et Fontenay-aux-Roses) et une non carencée (Chaville) ont été produites à partir des photos aériennes fournies par l'IGN et datant de 2014 avec une résolution de 50 cm.

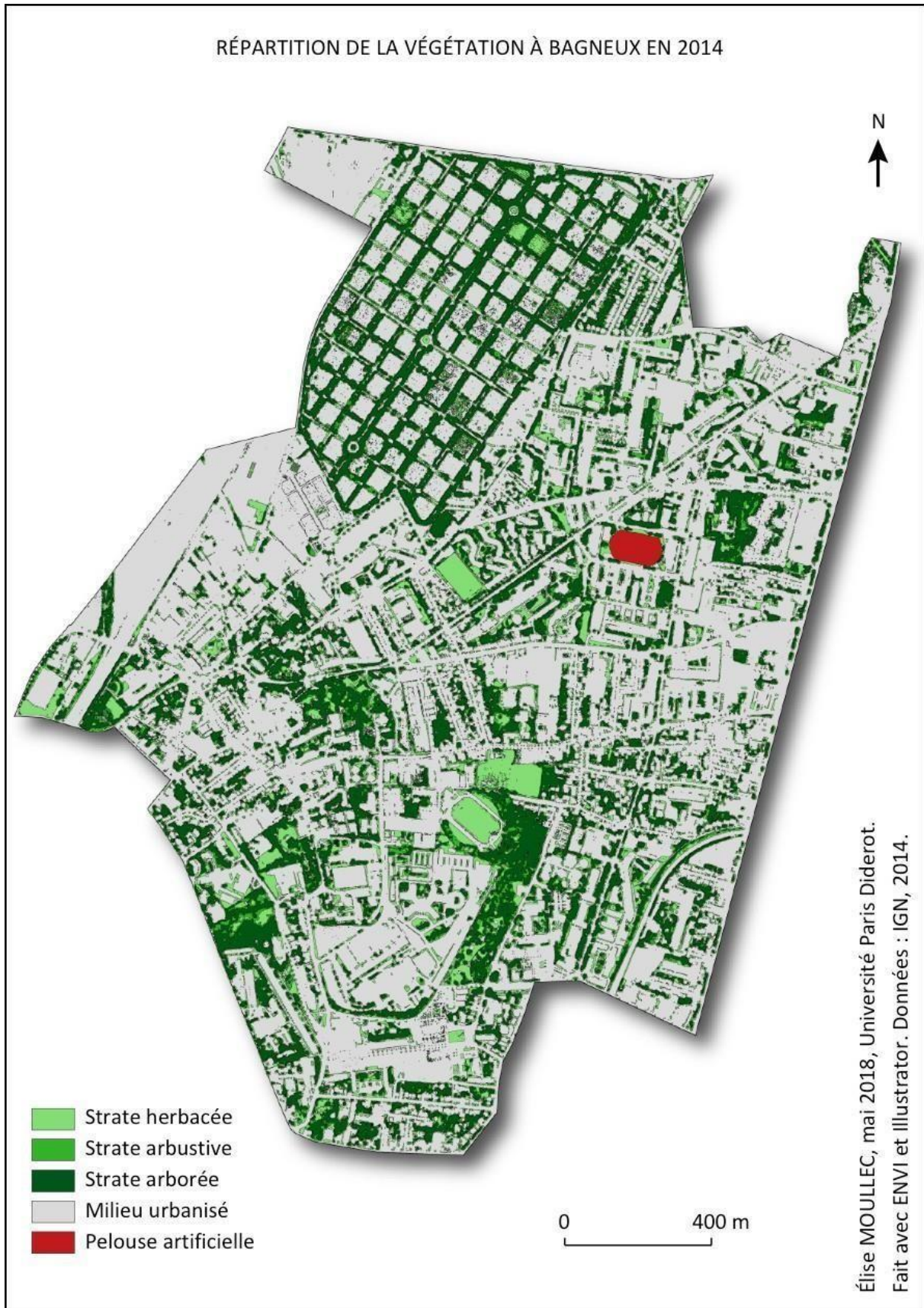


Fig. 3.2 : Carte de répartition de la végétation à Bagnex en 2014

RÉPARTITION DE LA VÉGÉTATION À BOULOGNE-BILLANCOURT EN 2014



Fig. 3.3 : Carte de la répartition de la végétation à Boulogne-Billancourt en 2014

RÉPARTITION DE LA VÉGÉTATION À BOURG-LA-REINE EN 2014



Fig. 3.4 : Carte de répartition de la végétation à Bourg-la-Reine en 2014

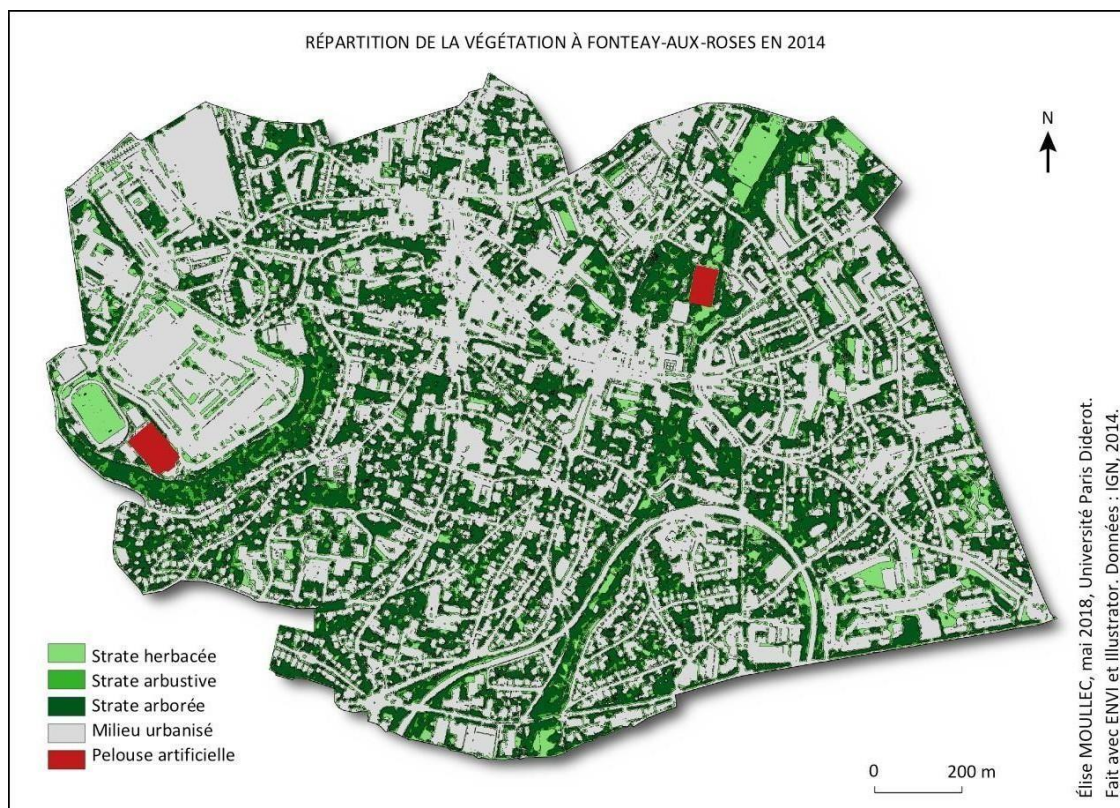


Fig. 3.5 : Carte de répartition de la végétation à Fontenay-aux-Roses en 2014

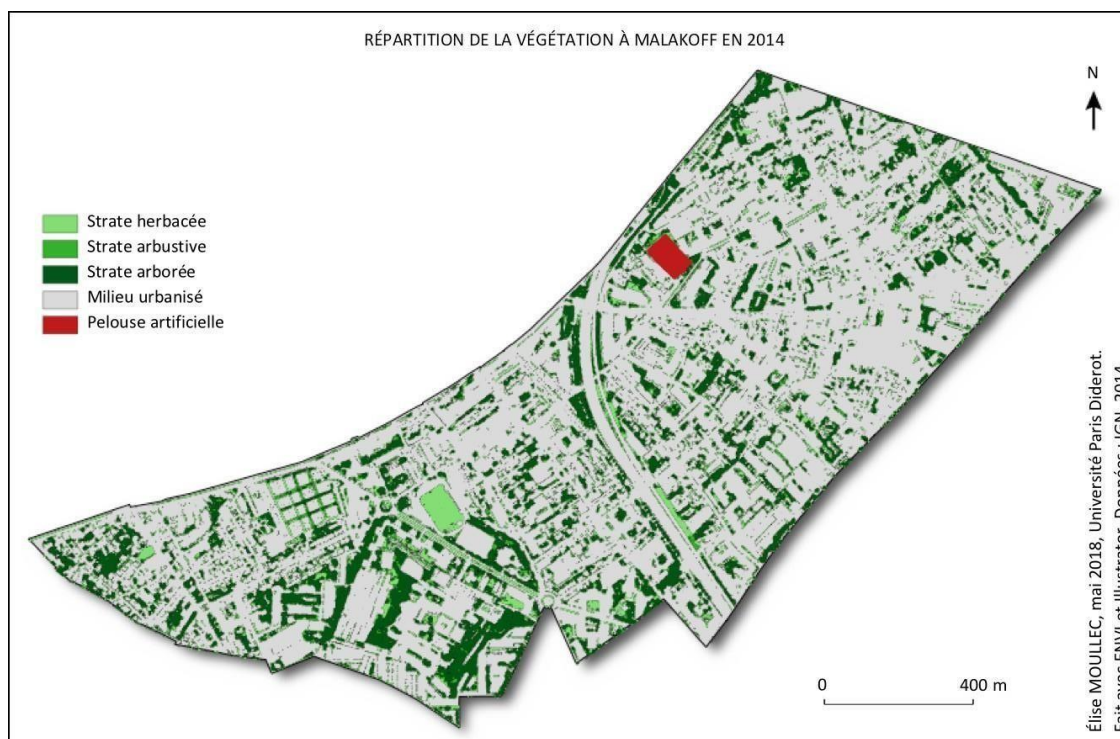


Fig. 3.6 : Carte de répartition de la végétation à Malakoff en 2014

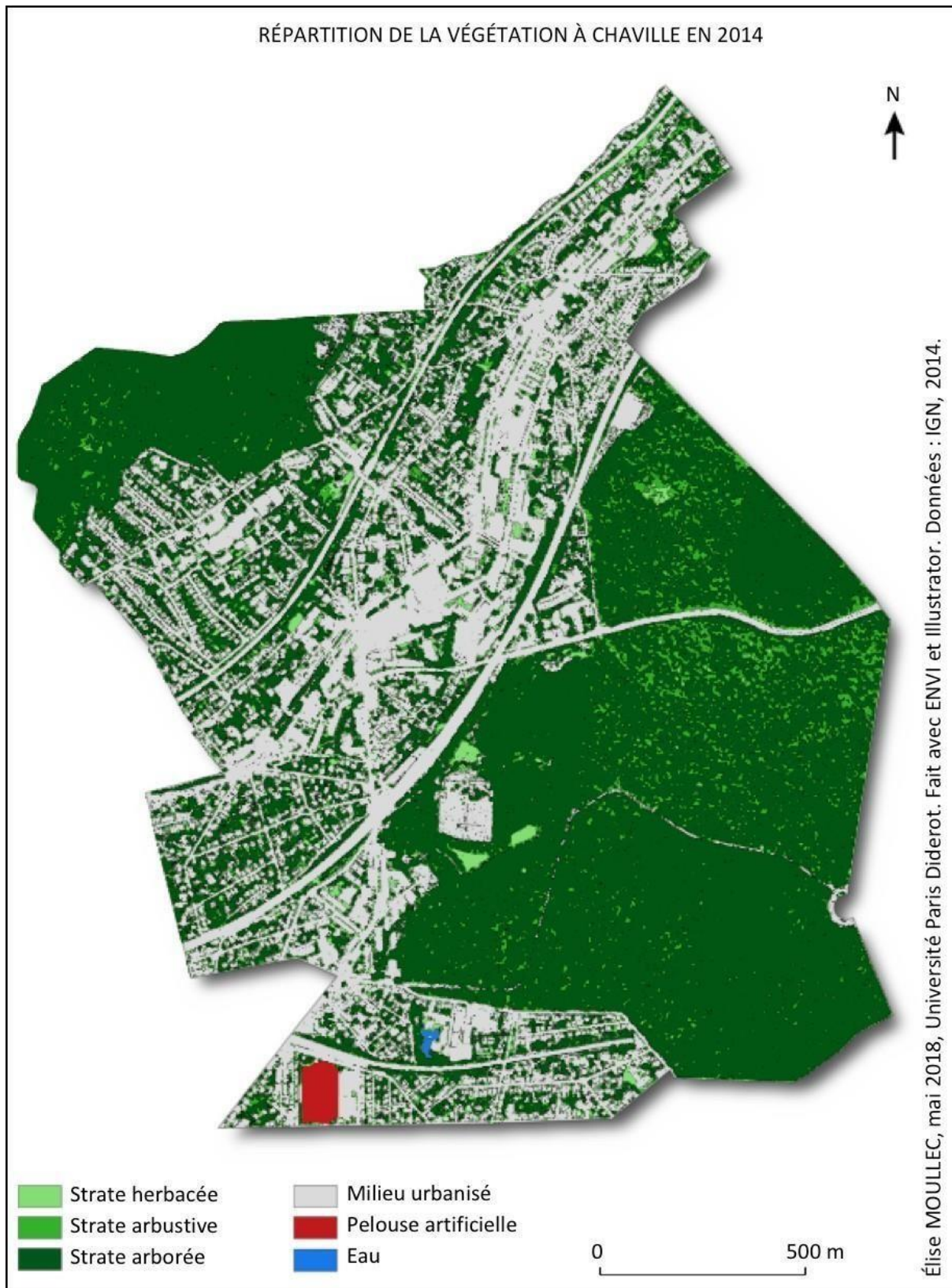


Fig. 3.7 : Carte de répartition de la végétation à Chaville en 2014

Les données statistiques de la répartition de la végétation parmi les six communes étudiées sont détaillées dans le tableau 3.2

	Bagneux	Boulogne – Billancourt	Bourg – la – Reine	Chaville	Fontenay – aux – Roses	Malakoff
Milieu non végétalisé	10 676 616 63,70%	18 945 015 76,80%	4 573 333 61,50%	4 651 258 32,60%	5 480 780 54,10%	6 034 424 72,80%
Strate herbacée	2 495 006 14,90%	2 509 826 10,20%	1 159 881 15,60%	1 365 489 9,60%	1 876 325 18,50%	1 012 226 12,20%
Strate arbustive	1 017 879 6,10%	985 145 4,00%	498 295 6,70%	1 177 931 8,20%	812 492 8,00%	360 601 4,40%
Strate arborée	2 560 206 15,30%	2 240 073 9,10%	1 203 110 16,20%	7 091 789 49,60%	1 960 055 19,30%	881 151 10,60%
Total	16 749 707 100%	24 680 059 100%	7 434 619 100%	14 286 467 100%	10 129 652 100%	8 288 402 100%

Tab. 3.2 : Données statistiques (Pixels et pourcentages) des communes sélectionnées

Toutes les communes étudiées possèdent de la végétation, mais dans des proportions différentes. Comme attendu, Chaville est la commune en possédant le plus. C'est elle qui a le plus faible taux de milieu non végétalisé, avec 32,6 % (Tableau 3.2). Mais cette répartition est hétérogène, deux forêts domaniales occupent les coteaux situés à l'Est et à l'Ouest de la commune laissant la vallée urbanisée (Figure 3.7). Chaville est donc considérée comme très végétalisée grâce aux forêts.

Ensuite, Fontenay-aux-Roses, l'une des communes considérées comme carencées en espaces verts publics, est la deuxième à offrir le plus de végétation mais sur des espaces privés : elle présente à peu près la même proportion d'espaces végétalisés et non végétalisés. La répartition de cette végétation est plutôt homogène à l'échelle de la commune, à l'exception de l'Ouest qui semble abriter de vastes bâtiments (Figure 3.5). Le reste du territoire est occupé par des habitations de type pavillonnaire. Ainsi, la commune est bien végétalisée, mais manque d'espaces verts publics. Les communes de Bagneux et Bourg-la-Reine ont toutes deux la même proportion de végétation puisque leur taux de milieu non végétalisé est similaire : plus de 60 % (Tableau 3.2). Toutefois, la répartition de la végétation dans ces deux communes est différente : À l'inverse, de Bourg-la-Reine où l'homogénéité domine (Figure 3.4), l'hétérogénéité l'emporte à Bagneux, où la végétation est concentrée dans certains espaces au détriment des autres (Figure 3.2). Elle est présente dans le cimetière Parisien de Bagneux, et dans les stades enherbés et dans les espaces végétalisés qui les environnent. De plus, les résidences avec jardin collectif priment sur l'habitat pavillonnaire, donnant des espaces végétalisés plus vaste mais moins fréquents.

Enfin, les communes possédant le moins d'espaces végétalisés sont Malakoff et Boulogne-Billancourt avec un taux de milieu non végétalisé atteignant, respectivement 72,8 % et 76,8% (Tableau 3.2).

Ces deux communes touchant la capitale, leurs constructions sont probablement influencées par le bâti très dense de Paris ce qui expliquerait ces taux élevés. A Malakoff, (Figure 3.6) le peu de végétation présent semble être réparti de manière homogène.

A l'inverse, à Boulogne-Billancourt cette répartition est clairement hétérogène (Figure 3.3). Son seul espace réellement végétalisé est un parc au Nord-Ouest contenant un étang. Ensuite, un gradient Nord-Sud se détache, avec plus d'espaces végétalisés au Nord qu'au Sud. Il est à noter que le Bois de Boulogne du territoire parisien représente une aménité importante pour la partie nord de Boulogne-Billancourt.

3.3. Comparaison avec les données de l'APUR

Nous avons comparé nos données d'occupation des sols avec celles obtenues par l'APUR en 2005. Le tableau 3.3 présente sur la première ligne, les surfaces de sol végétalisé, rapportées à la surface

totale l'année 2014 et repris du tableau 3.2. Sur la deuxième ligne, sont inclus les pourcentages correspondants obtenus par l'APUR, pour l'année 2005. On remarque qu'il y a peu de différences entre les deux séries de données.

Si l'on admet que les méthodes de l'APUR et les nôtres sont représentatives de la réalité, on peut faire une comparaison sur près de 10 ans. Ainsi, la quantité de végétation à Chaville et Fontenay-aux-Roses est restée stable entre 2005 et 2014. Les communes de Bagneux, Bourg-la-Reine et Malakoff ont vu leur taux de sol végétalisé diminuer de 2 points, entre ces deux années. Enfin, Boulogne-Billancourt connaît la plus forte baisse de sol végétalisé entre 2005 et 2014, avec une perte de 4 points, passant de 27,4 % à 23,2 % (Tableau 3.3). Entre toutes les communes étudiées, Boulogne-Billancourt était déjà celle qui comptait le moins d'espaces végétalisés en 2005, mais légèrement derrière Malakoff. En 2014, Malakoff a réussi à maintenir les siens, alors que Boulogne-Billancourt en a perdu beaucoup.

	Bagneux	Boulogne - Billancourt	Bourg - la - Reine	Chaville	Fontenay - aux - Roses	Malakoff
% sol végétalisé obtenu (2014)	36,30%	23,20%	38,50%	67,40%	45,90%	27,20%
% sol végétalisé APUR (2005)	38,40%	27,40%	40,90%	67,80%	46,00%	29,10%

Tab. 3.3 : Comparaison statistiques avec les données de l'APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme, 2008) des communes sélectionnées

Cette analyse des résultats de l'occupation du sol montre que la végétation est répartie de manière hétérogène à l'échelle départementale. Le Nord des communes bordant la capitale, sont celles qui souffrent le plus de cette inégalité, comme nous l'avons constaté pour avec Boulogne-Billancourt et Malakoff. Globalement, tout comme (Rhein et Palibrk 2014), nous observons une corrélation entre milieu urbain et place de la végétation : plus les communes s'éloignent de la capitale, plus leur taux de végétation augmente.

La méthodologie élaborée pour cette étude permet la cartographie des espaces étudiés par des classifications non supervisées, analyses de textures et photo-interprétation. La proximité des résultats obtenus concernant les taux de sols végétalisés avec ceux publiés par l'APUR (Tableau 3.3), la valide. Elle peut être appliquée à l'ensemble des communes des Hauts-de-Seine, ou à d'autres communes en milieu urbain.

4. Méthodologies utilisées lors de la seconde approche

4.1. Méthodologie de la cartographie des espaces verts objets d'enquêtes de terrain à partir de photographies aériennes

Comme il n'existe pas de base de données compilant l'ensemble des espaces verts publics ou privés, nous avons cartographié les espaces et créé une base de données en partant des photographies aériennes IGN de 2014, à 50cm de résolution (Base de données ortho en proche infra-rouge)²

² Les mémoires servant de base à ce travail ayant été réalisés parallèlement les résultats de la cartographie par photo-interprétation n'ont pu être utilisés.

Les pixels de l'image en fausses couleurs (IRC) sont codés selon 3 canaux : proche infra-rouge, rouge et vert enregistrés dans cet ordre. L'inversion de l'ordre des canaux avec le logiciel Terrset permet de faire apparaître sur l'image la végétation en rouge puisque la chlorophylle que contient celle-ci réagit fortement dans le proche infra-rouge.

Nous avons enregistré un espace vert dès lors que sa surface semblait atteindre 1000 m². Avec le logiciel QGIS, en utilisant un fond de carte OpenStreetMap, il a été possible d'obtenir une image montrant la végétation correspondant à la commune. Ensuite en se référant à la base de données du MOS en 81 postes (IAU) de 2012 et aux limites des parcelles par rapport aux voies, nous avons pu numériser les espaces verts, pour chaque catégorie du MOS, les classer selon des critères fondés sur une stratification de la végétation dominante et enfin sélectionner ceux d'une surface supérieure à 1000 m².

Les images résultats de l'enquête par télédétection vectorisées ont été ajoutées au projet pour faciliter les comparaisons et contrôles.

4.2. Méthodologie du choix des terrains objets d'enquêtes pour l'étude du potentiel de biodiversité des espaces verts

Du fait de la multiplicité et de hétérogénéité des espaces verts, nous avons procédé à un échantillonnage stratifié aléatoire.

Un premier niveau de stratification définit les espaces verts en fonction de leur surface et de leur fonction. La typologie se réfère aux catégories du MOS 81 des espaces végétalisés et indique le coefficient retenu par Philippe Clergeau afin de permettre les comparaisons.

Tab. 4.1 : Catégories des espaces verts et indice BioMOS correspondant

Intitulé MOS	Définition	BioMOS
Bois ou forêts > 1ha	À l'échelle planétaire, la forêt est reconnue comme le milieu terrestre le plus riche en terme de biodiversité et celui qu'il convient de préserver en priorité. En cas de gestion forestière monospécifique, cette richesse est fortement amoindrie.	1
Bois ou forêts < 1 ha	<i>Idem</i> . Leur surface limitée conduit à réduire leur indice.	0,8
Coupe ou clairière en forêt	<i>Idem</i>	0,8
Berges	Espaces bordant les cours d'eau, présence de ripisylve. Ces espaces sont naturellement riches lorsqu'ils sont peu ou pas artificialisés et constituent des couloirs écologiques au sein du milieu urbain.	0,8
Eau fermée	Les lacs et les écotones périphériques peuvent constituer des milieux extrêmement riches pouvant receler des espèces rares et strictement endogènes. Mais cette biodiversité est très sensible à de nombreux paramètres (qualité des eaux, artificialisation des rives, développement d'activités...). La récession des plans d'eau de petite surface est critique pour la survie de nombreuses espèces (amphibiens notamment). Par ailleurs, ces milieux sont susceptibles de servir de zone refuge – relais pour de nombreuses espèces aviennes sur leur parcours de migration.	0,8

Intitulé MOS	Définition	BioMOS
Cours d'eau	La biodiversité intrinsèque d'un cours d'eau est directement liée à de multiples paramètres : qualité des eaux, morphologie, nature des berges... Dans les meilleures conditions, ils permettent un foisonnement végétal qui offre nourriture et abri à des nombreuses espèces animales, vertébrées et invertébrées. Mais pollutions, recalibrages, artificialisation des berges, introduction d'espèces exogènes peuvent réduire à néant cette bio-diversité	0,8
Espaces ouverts à végétation arbustive ou herbacée	Ce poste regroupe les zones humides, marais, landes non arborées, friches agricoles et carrières abandonnées notamment. Parmi ceux-ci, les marais et milieux humides sont les plus productifs en terme de biomasse et sont indispensables à la reproduction d'un grand nombre d'espèces (flore, crustacés, mollusques, insectes, vertébrés)	0,6
Vergers et pépinières	Espaces de vergers, pépinières et vignes.	0,6
Parcs ou grands jardins de plus de 5 000 m ²	Parcs ou grands jardins de plus de 5 000 m ² , privés ou publics. Cette catégorie comprend les espaces verts de l'habitat collectif de plus de 5 000 m ² , les espaces verts des groupes scolaires, des entreprises, ainsi que tous les parcs et jardins publics de plus de 5 000 m ² .	0,6
Surfaces engazonnées avec ou sans arbustes (espaces végétalisés des emprises des voies routières ou ferrées)	Espaces en herbe associés aux infrastructures (transports, terrains militaires, aéroports, lignes haute tension) et châteaux ou similaire : ces surfaces en herbe, notamment les délaissés et annexes de voirie, peuvent présenter une certaine richesse biologique si les mesures de gestion dont ils font l'objet le permettent. Seuls les remblais et les talus des voies ferrées ont été ici intégrés à cette catégorie. En effet, les faisceaux de triage, gares et installation du matériel ne sont pas végétalisés.	0,6
Terrains vacants en milieu urbain	Ces terrains sont entendus comme des sites où la gestion de la végétation a été plus ou moins abandonnée temporairement. Plusieurs études récentes ont confirmé que le meilleur biotope urbain était le vieux terrain vague, très riche en biodiversité et peuplé de plantes autochtones si la nature a été laissée à elle-même.	0,6
Jardins familiaux	Les jardins, ayant le plus souvent des fonctions multiples (agrément, potagers, vergers..), induisent la présence de végétaux diversifiés (même s'ils ne sont pas autochtones) qui à leur tour permettent la présence d'une faune diversifiée.	0,3

Intitulé MOS	Définition	BioMOS
Jardins de l'habitat individuel	<i>Idem jardins familiaux.</i> Les jardins de l'habitat individuel n'ont pas été comptabilisés à la parcelle. Selon le MOS seuls les jardins entre 1 000 et 5 000 m ² (sur une même parcelle) sont comptés dans cette catégorie. Or les jardins de l'habitat individuel sont souvent de taille réduite en milieu urbain dense. Nous avons donc fait le choix de compter les jardins en cœur d'îlot comprenant des continuités entre eux. Seules les surfaces de plus de 1 000 m ² ont été retenues (indépendamment de la taille de la parcelle), sans limite maximale de surface.	0,3
Parcs ou jardins de 1 000 à 5 000 m ²	Parcs ou jardins ayant une surface allant de 1 000 à 5 000 m ² . Cette catégorie a été créée pour l'étude car les surfaces de moins de 5 000 m ² n'étaient pas prises en compte dans le MOS. Or en milieu urbain, ces surfaces sont importantes puisqu'elles constituent des îlots de biodiversité au cœur du tissu urbain. Cette catégorie comprend les espaces verts de l'habitat collectif entre 1 000 et 5 000 m ² , les espaces verts des groupes scolaires, des entreprises ainsi que les parcs et jardins publics.	0,3
Peupleraie	Une part importante des peupleraies fait l'objet d'une gestion "rigoureuse" qui limite très fortement le développement d'une végétation basse diversifiée. Il en résulte une faible biodiversité intrinsèque.	0,1
Maraîchage horticulture	Les techniques les plus répandues de maraîchage et d'horticulture, faisant appel à des traitements visant à éliminer la végétation concurrente ainsi que de nombreux insectes, y limitent fortement la biodiversité.	0,1
Terrains de sports en plein air	Les terrains de sport en plein air sont le plus souvent ensemencés de gazon qui fait l'objet de tontes fréquentes et d'apport d'engrais empêchant le développement d'une flore variée et spécifique et d'une faune associée.	0,1
Parcs liés aux activités de loisirs sauf parcs de châteaux	Les parcs liés aux activités de loisirs (parcs animaliers, zoos, parcs d'attraction et centre de loisirs) comprennent souvent : - une partie ensemencée de gazon qui fait l'objet de tontes fréquentes empêchant le développement d'une flore variée et d'une faune associée ; - une partie à vocation esthétique avec plantations arbustives et arborées qui peuvent présenter un intérêt, notamment pour les insectes et les oiseaux.	0,1
Golfs	La végétation herbacée des golfs est le plus souvent strictement sélectionnée, sa tonte à ras fréquente et l'apport régulier d'engrais empêchent le développement d'une flore variée spécifique et de la faune associée.	0,1

Intitulé MOS	Définition	BioMOS
Hippodrome	<i>Idem.</i> Terrains de sports en plein air	0,1
Cimetières	Les cimetières sont des espaces spécifiques mêlant minéral et végétal. Les surfaces végétalisées représentent souvent une faible part de la surface totale de ces espaces. De plus leur mode de gestion conditionne largement leur potentiel de biodiversité. En cas de végétalisation importante un coefficient plus élevé proportionnel à la surface végétalisée sera appliqué.	0,1

Un deuxième niveau de stratification est fondé sur les critères de végétation dominante selon les quatre types suivants :

- Strate arborée dense
- Strate arborée dominante, pelouse
- Pelouse dominante, strate arborée
- Pelouse

Nous avons limité les relevés à trois catégories d'espaces compte tenu du temps imparti pour la présente étude : Espace ouvert à végétation arbustive ou herbacée, parcs et jardins de plus de 5 000 m² et entre 1 000 et 5 000 m².

Le nombre d'espaces sélectionnés s'est fait de façon arbitraire, en privilégiant ceux considérés comme structurant ou à enjeu fort. Les relevés de terrain ont été réalisés pour 21 lieux : 8 à Bagneux, 6 à Bourg-la-Reine et 7 à Boulogne-Billancourt.

4.3. Méthodologie des relevés de terrain

Nous avons limité l'identification de la flore sur la base de données d'ouvrages divers sur des "placettes de forme circulaire ou quadrat. Un exemple des formes de placettes est donné dans la figure 4.1 ci-dessous.



Fig. 4.1 : À gauche, placette en forme de quadrat dans le square Pierre-André Meunier à Bourg-la-Reine ; À droite, placette en forme de cercle dans le parc François Mitterrand à Bagneux

4.4. Méthodes d'analyse des résultats de terrain

Nous avons utilisé une approche statistique avec le logiciel R pour réaliser une analyse factorielle des correspondances (AFC) afin de voir s'il existe des différences ou des ressemblances entre les placettes. Dans ce cas les relevés sont considérés comme des individus et les espèces sont

les variables. L'AFC a été réalisée à partir du tableau de contingence absence/présence de chaque espèce identifiée et dans chaque placette. Afin que le résultat de l'AFC donne un résultat graphique lisible, le nom des placettes a été codé pour que l'ensemble des informations relatives à la placette apparaisse.

Ensuite, nous avons calculé la fréquence spécifique de chaque espèce. La fréquence spécifique est donnée par la formule suivante :

$$F_i = \frac{\text{Nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente}}{\text{Nombre total de relevés}} \times 100$$

Puis l'indice de diversité Béta ou indice de Sorensen (1948) qui permet de connaître le niveau de similitude entre deux placettes compte tenu des espèces qui ont été identifiées. Cet indice est donné par la formule suivante :

$$\beta = \frac{2C}{2C + S1 + S2}$$

Où

S1 : nombre d'espèces appartenant à un site 1

S2 : nombre d'espèces appartenant à un site 2

C: nombre d'espèces communes aux deux sites

La valeur de l'indice varie de 0 lorsqu'aucune espèce n'est commune aux deux sites, à 1 lorsque toutes les espèces sont communes aux deux sites. Le calcul de cet indice va pouvoir nous apporter des informations concernant les espaces présentant des espèces végétales similaires et ainsi permettre de discuter les pondérations affectées aux postes du MOS par l'indice BioMos.

5. La couverture végétale et la carte des espaces verts de trois communes carencées selon la typologie adaptée du MOS en 81 postes et bilan BioMos

Les résultats qui suivent ne concernent que trois communes carencées : Boulogne-Billancourt, Bagneux et Bourg-la-Reine à cause du temps imparti pour cette étude. Pour chaque commune, des trois communes nous avons comparé successivement :

- La carte des espaces verts réalisée à partir de la photo aérienne (IGN) dans le proche infra-rouge, avec indication du type de végétation dominant . Cette carte constitue le résultat principal du présent travail.
- la couverture végétale obtenue par télédétection (voir section 3 ci-dessus) et vectorisée. Les cartes des bâtiments, voies ferrées et routes extraites d'Openstreetmap ont été superposés.
- La carte des espaces verts extraite du MOS en 81 postes 2012 (données IAU)

5.1. Bagneux

La carte des espaces verts de Bagneux que nous avons élaborée est représentée dans la figure 5.1. Une version au format A3 est annexé en fin de volume. La légende explicite les différents types d'espaces verts selon la typologie MOS 81 en postes modifiée et le code couleur (diverses nuances de vert) pour les catégories paysagères; pelouse, pelouse dominante arborée, arboré dominant et pelouse, arboré dense. Selon la mesure des surfaces de ces espaces, la proportion des parcs et jardins représentent 12,42% de la surface communale, ce qui montre une ville très urbanisée.

Espaces verts de Bagneux selon la typologie MOS 81 postes modifiée avec spécification du paysage

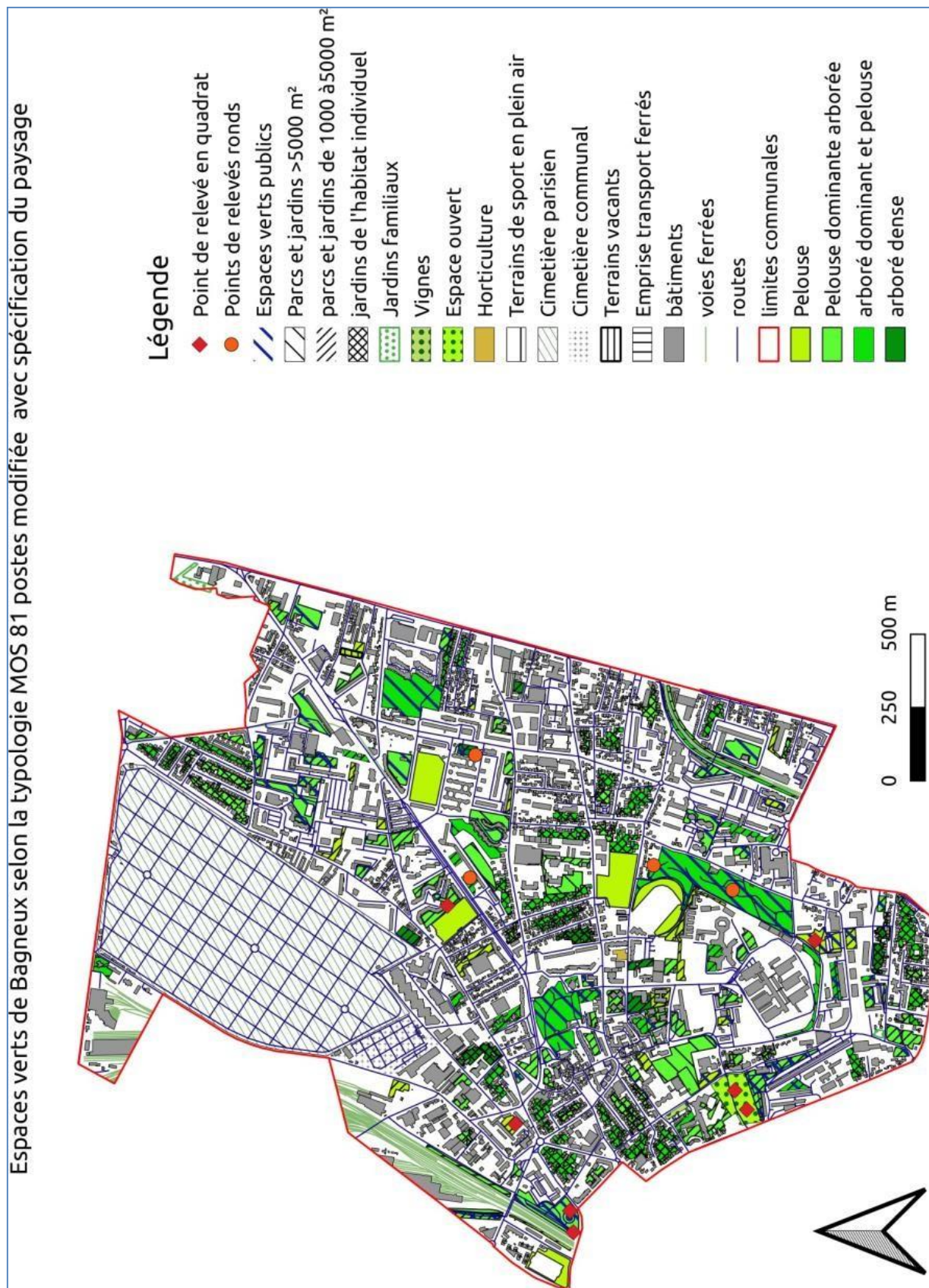


Fig. 5.1 : Carte des espaces verts de Bagneux selon la typologie du MOS en 81 postes modifiée avec spécification du paysage, élaborée par numérisation à partir de l'image aérienne ; sources IGN, IAU, OpenStreetMap

La comparaison avec la carte de couverture végétale que nous avons obtenue par télédétection à haute résolution de la figure 5.2. montre que les zones végétalisées sont plus importantes que dans la carte de la figure 5.1. Ceci est dû simplement au fait que la numérisation des entités paysagères (Figure 5.1) n'a pas tenu compte des très petits espaces verts (très nettement inférieurs à 1000 m²) et des alignements d'arbres des rues, cimetières etc. par rapport à la couverture végétale (Figure 5.2) qui est obtenue à partir d'une image brute.

La carte des espaces verts de Bagneux (figure 5.1) peut être confrontée à celle produite par le MOS 2012 (données IAU) représentée sur la figure 5.3. Il y a des différences visibles à un simple examen. L'analyse détaillée a été réalisée par la mesure des surfaces selon la typologie du MOS 81 (voir tableau 5.1). En comparant le nombre des espaces, on voit entre 2012 et 2014, une diminution du nombre de terrains vacants, signature de nouvelles constructions. Pour tous les autres types d'espaces verts (à l'exception des parcs et jardins de plus de 5 000 m²), des terrains de sports en plein air) nos travaux (2014) en montrent un plus grand nombre qu'en 2012.

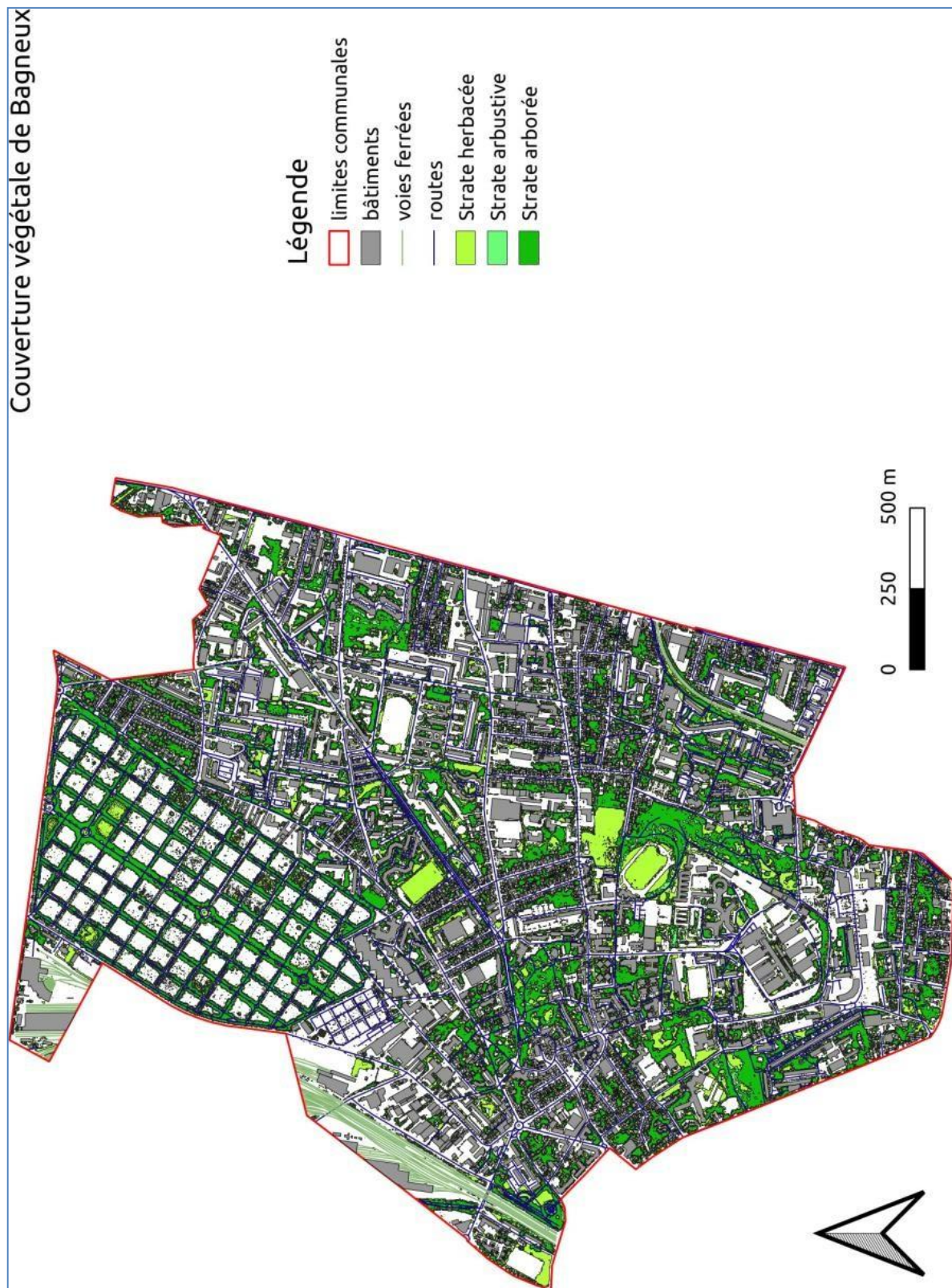


Fig. 5.2 : Couverture végétale de Bagnaux obtenue par télédétection. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IGN, IAU, Openstreetmap

Espaces verts de Bagneux en 2012 selon la typologie MOS en 81 postes

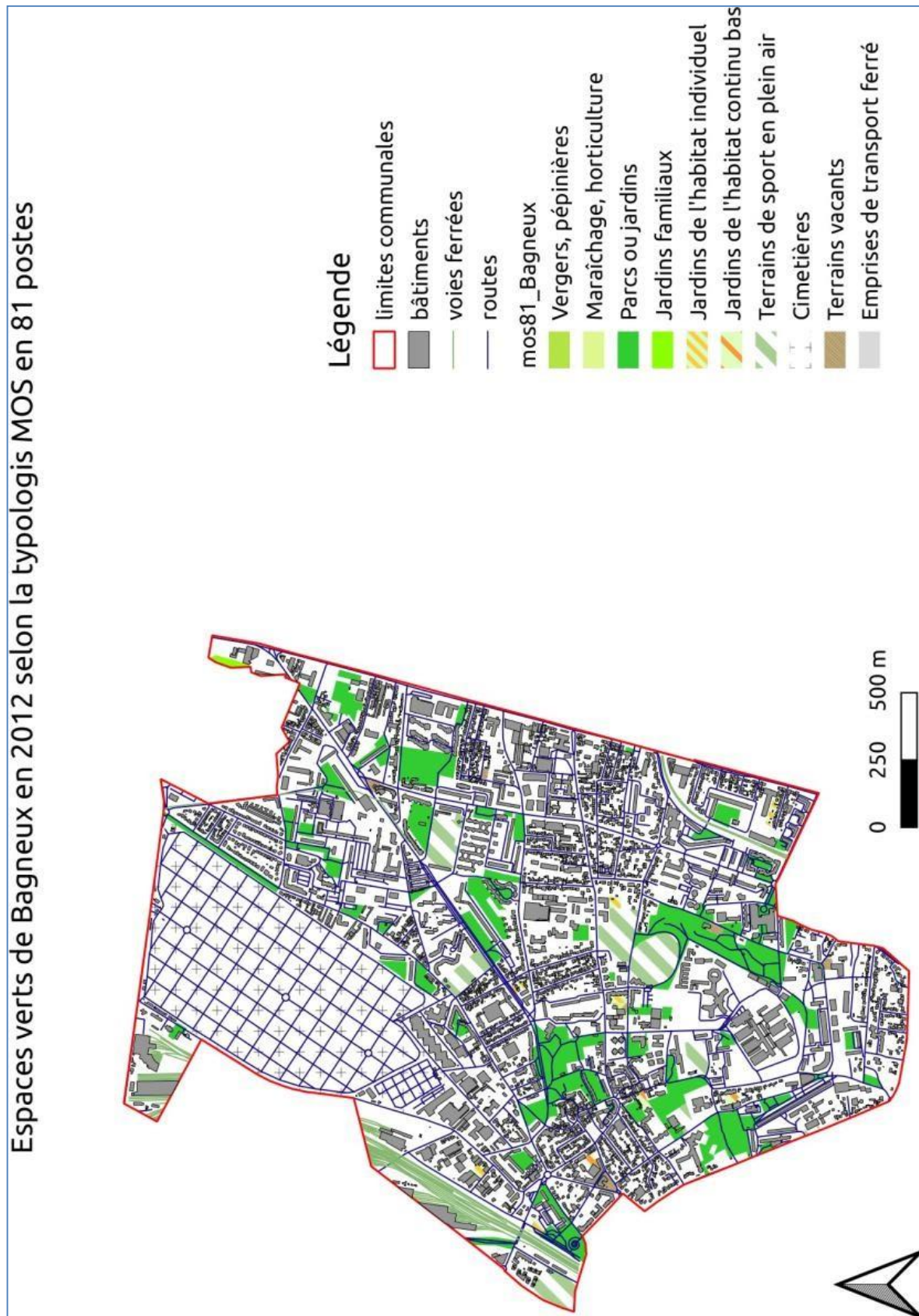


Fig. 5.3 : Carte des espaces verts de Bagneux du MOS en 81 postes 2012. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IAU, Openstreetmap

Ceci pourrait être contre-intuitif mais l'explication se trouve dans le fait que la meilleure résolution de nos résultats, révèle de très nombreux espaces de moins de 5 000 m². Au total la surface des espaces verts recensés représente 7,80ha de plus que les 123,63ha recensés par l'IAU en 2012 d'après le tableau 5.1. Si l'on extrait la part des espaces verts (en vert clair dans le tableau), cet écart atteint 10,82 ha sur un total de 54,91 ha, soit 19,7%. C'est une énorme différence. Le tableau montre que le MOS 2012 sous-estime une grande part des petits parcs et jardins de moins de 5 000 m², alors que les rues et certains parkings y sont comptabilisés. Le cas des jardins individuels est emblématique avec un nombre de 49 à comparer avec les 6 inventoriés dans le MOS 2012. La proportion d'espaces végétalisés que nous obtenons avec les données IGN proche infrarouge à 50 cm de résolution, par rapport à la surface de la commune est de l'ordre de 31,45%. Si l'on considère la surface de la couverture végétale, qui est supérieure comme attendu, cette proportion monte à 36,33%.

Code MOS	Intitulé	Ce travail		IAU- MOS 81 postes-2012		Différence surface (ha)
		nombre	Surfaces (ha)	nombre	Surfaces (ha)	
4	Espaces ouverts à végétation arbustive ou herbacée	1	1,88	0	0	1,88
8	Vergers, pépinières	1	0,14	0	0	0,14
13	Parcs et jardins de plus de 5000 m ²	19	21,94	18	32,94	-11
28	Terrains vacants en milieu urbain	1	0,15	7	1,33	-1,18
14	Jardins familiaux	2	0,51	1	0,33	0,18
15	Jardins de l'habitat individuel	49	13,74	6	1,13	12,61
27	Emprise de transport ferré	6	1,97	0	0	1,97
9	Maraîchage – Horticulture	1	0,14	0	0	0,14
17	Parcs et jardins entre 1000 et 5000 m ² (jardins de l'habitat continu bas)	88	18,72	42	9,69	9,03
18	Terrains de sport en plein air	6	6,55	9	12,08	-5,53
26	Cimetières	2	65,7	1	66,13	-0,43
	Total	176	131,43	84	123,63	7,80

Total parcs et jardins	54,91	44,09	10,82
Surface de la commune	417,84		
Couverture végétale	151,83		

Tab. 5.1 : Espaces verts de Bagneux selon la typologie du MOS 81 postes - Comparaison entre le présent travail et le MOS 81 2012 (données IAU). Les parcs et jardins sont indiqués par un fond vert clair.

5.2. Bourg-la-Reine

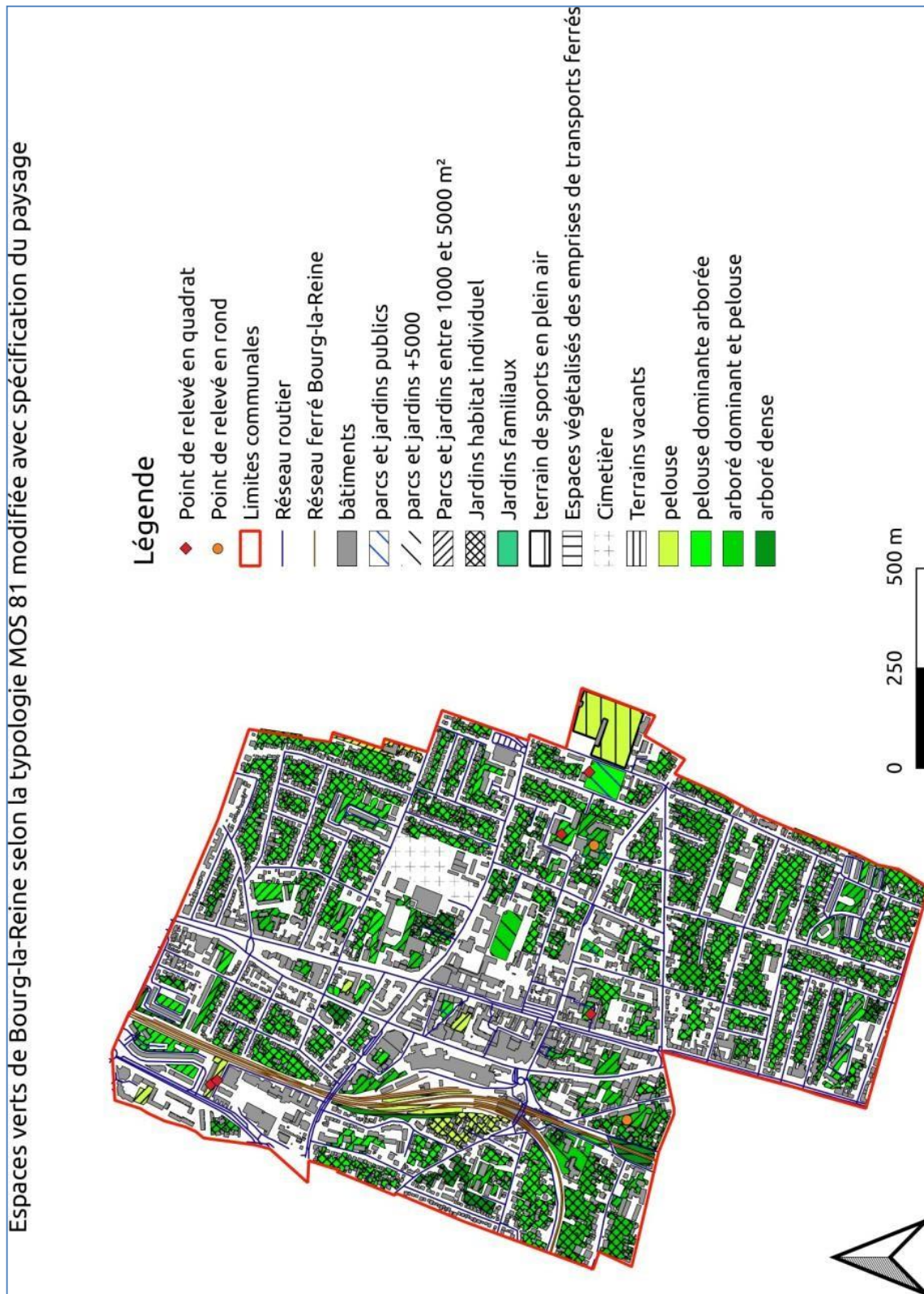


Fig. 5.4 : Carte des espaces verts de Bourg-la-Reine selon la typologie du MOS en 81 postes modifiée avec spécification du paysage, élaborée par numérisation à partir de l'image aérienne ; sources IGN, IAU, OpenStreetMap

La cartographie des espaces verts de la commune de Bourg-la-Reine (Figure 5.4) diffère grandement de celle de la commune de Bagneux. Les jardins individuels sont le type espace vert dominant, en lien avec la structure de l'habitat (20% d'habitat individuel à l'échelle communale). Le nombre et les surfaces des différents types d'espaces verts sont indiqués dans le tableau 5.7. Le total espaces verts est de 51,48 ha, ce qui représente 27,69% de la surface de la commune. En fait l'essentiel de cette surface est dominé par les parcs et jardins (46,17 ha).

Cette surface est à comparer avec la couverture végétale, données que nous avons obtenues par télédétection (voir section 3). Cette couverture végétale vectorisée est présentée sur la figure 5.5

Couverture végétale de Bourg-la-Reine



Fig. 5.5 : Couverture végétale de Bourg-la-Reine obtenue par télédétection. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IGN, IAU, Openstreetmap

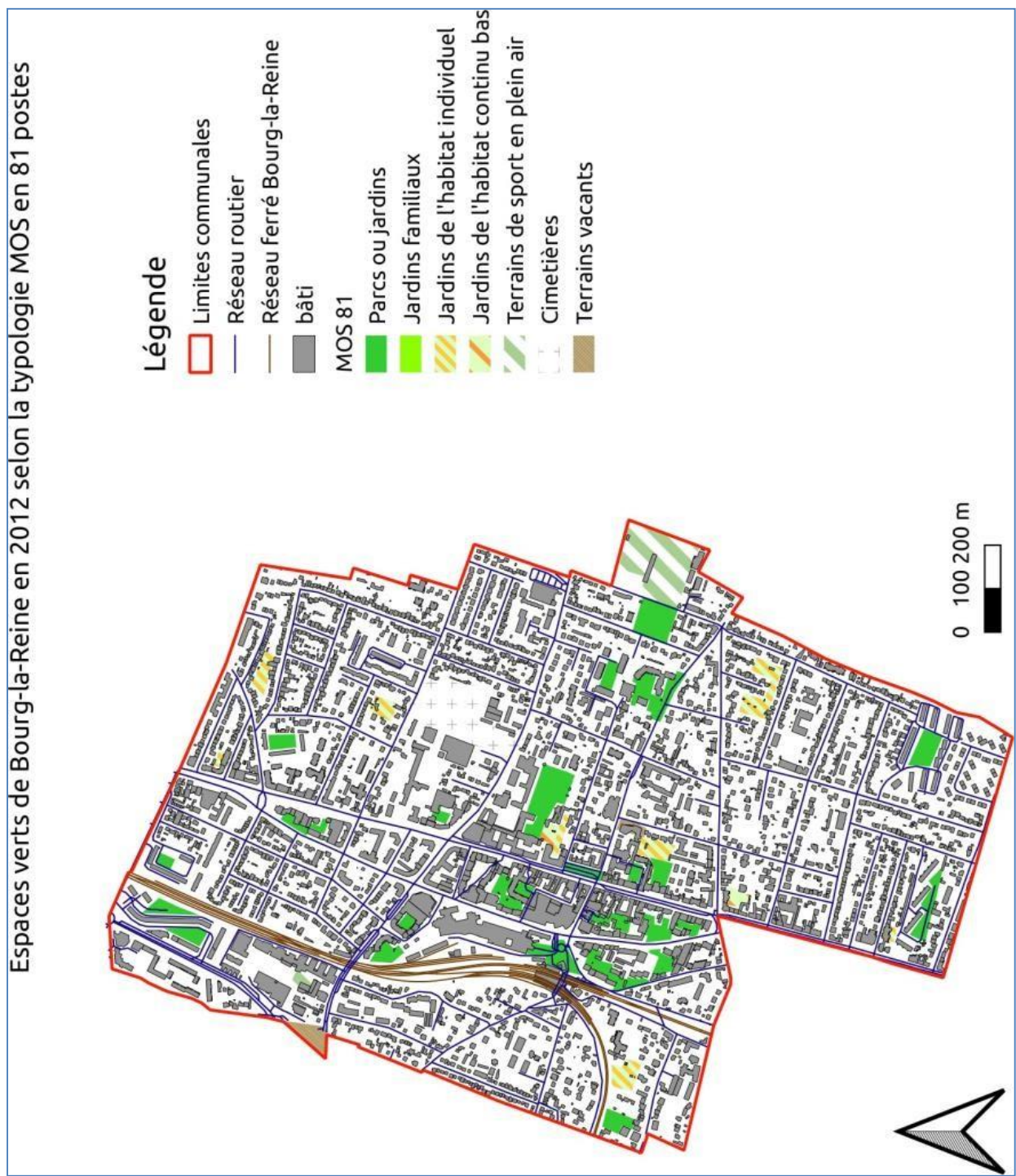


Fig. 5.6 : Carte des espaces verts de Bourg-la-Reine du MOS en 81 postes 2012. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IAU, Openstreetmap

On observe une végétalisation qui couvre une bonne partie de la commune en accord global avec la carte de la figure 5.4. Toutefois sa surface mesurée à 71,53 ha (voir tableau 5.2) est bien supérieure à la mesure précédente de 51,48 ha. La différence est de 20,05 ha. Celle-ci est due au fait que les images par télédétection sont à très haute résolution et sont capables de détecter les arbres d'alignement le long des rues, des voies ferrées et la végétation de petites surfaces, qui n'ont pas été numérisées à partir des images IGN dans le proche infra-rouge. Cette couverture végétale représente 38,47% de la surface communale.

Les données du MOS 81 postes de 2012 (IAU) sont l'objet de la carte 5.6 et permettent la comparaison détaillée sur le tableau 5.2.

L'examen de la figure 5.6 produite à partir du MOS 81 de 2012, qui laisse apparaître peu d'espaces verts, présente un fort contraste avec la figure 5.4 où leur présence est manifeste. L'origine de cette différence provient d'une forte présence des petits jardins individuels (constituant des cœurs d'îlot) et des petits jardins des collectifs privés. Ces différences sont chiffrées dans le tableau 5.2. L'écart entre les données sur les surfaces de parcs et jardins du MOS 81 de 2012 (8,52 ha) par rapport à celles de la présente étude (46,17 ha) est de 35,76 ha ce qui est énorme et correspond à 19,23% de la surface communale.

Le nombre des parcs et jardins de plus de 5 000 m² et des terrains vacants, en diminution de 2012 à 2014, montre que la commune s'est densifiée pendant la période.

L'écart de près de 36 hectares entre les deux recensements d'espaces verts montre que le MOS 81 de 2012 a plus que sous-estimé, les espaces verts de petite surface, bien que les surfaces des rues et certains parkings y soient comptabilisées. Il est clair que la typologie actuelle du MOS, qui vise surtout à étudier le bâti, produit des estimations plus grossières des espaces verts et n'est pas aujourd'hui adaptée pour la description des communes dominées par une parcellisation des surfaces végétalisées.

Code MOS	Intitulé	Ce travail		IAU- MOS 81 postes-2012		Différence surface (ha)
		nombre	Surfaces (ha)	nombre	Surfaces (ha)	
13	Parcs et jardins de plus de 5000 m ²	2	1,75	4	2,86	-1,11
28	Terrains vacants en milieu urbain	1	0,06	2	0,53	-0,47
17	Parcs et jardins entre 1000 et 5000 m ² (jardins de l'habitat continu bas)	48	10,11	29	5,47	4,64
14	Jardins familiaux	1	0,03	0	0	0,03
15	Jardins de l'habitat individuel	89	34,28	8	0,19	32,20
27	Espaces végétalisés des emprise de transports ferrés	7	1,18	0	0	1,18
18	Terrains de sport de plein air	1	1,98	2	2,41	-0,43
26	cimetière communal	1	2,08	1	2,39	-0,31
	Total	150	51,48	46	15,74	35,74

Total parcs et jardins		46,17		10,41	35,76
Surface de la commune		185,93			
Couverture végétale		71,53			

Tab. 5.2 : Espaces verts de Bourg-la-Reine selon la typologie du MOS 81 postes - Comparaison entre le présent travail et le MOS 81 2012 (données IAU). Les parcs et jardins sont indiqués par un fond vert clair

5.3. Boulogne-Billancourt

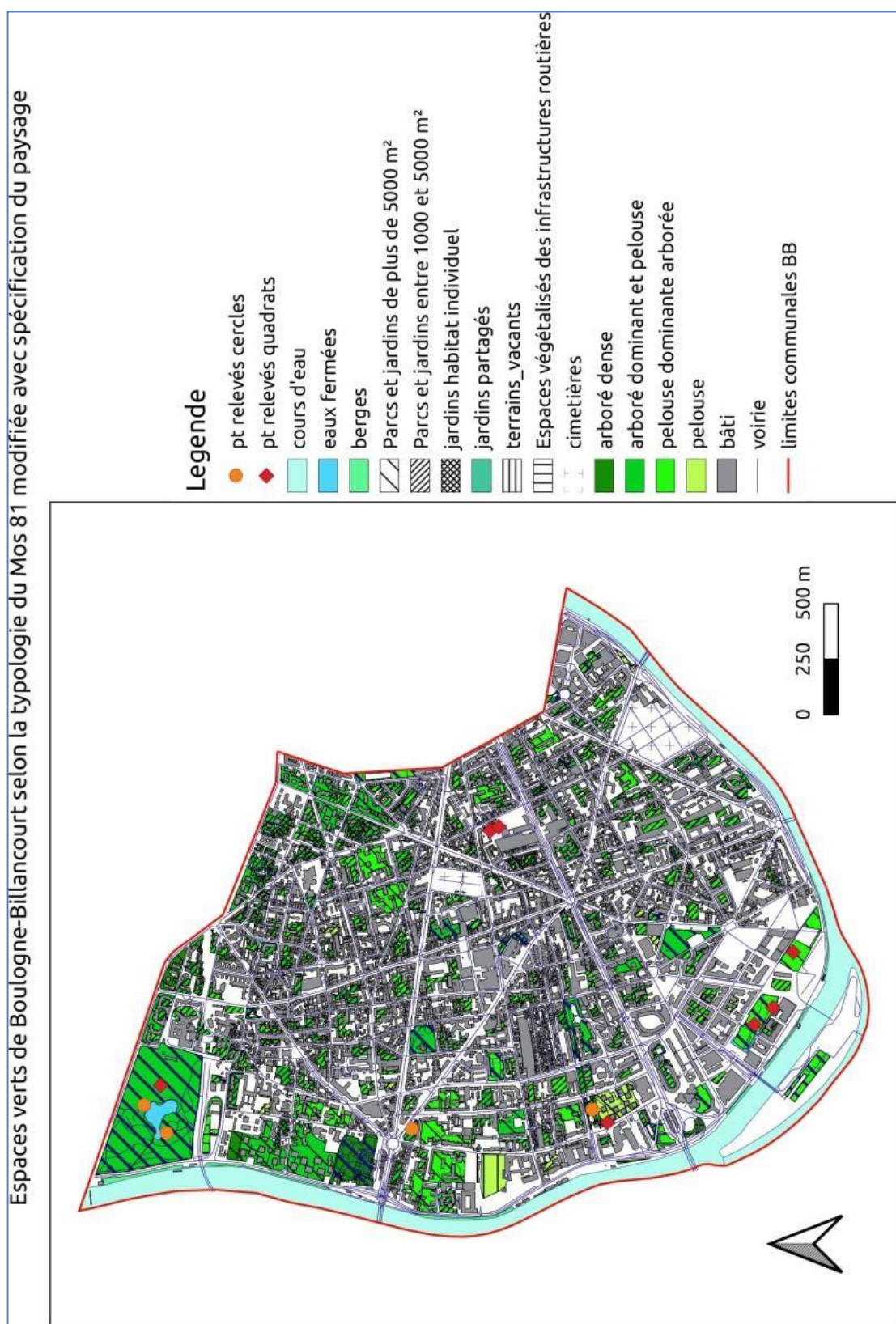


Fig. 5.7 : Carte des espaces verts de Boulogne-Billancourt selon la typologie du MOS en 81 postes modifiée avec spécification du paysage. Sources : IGN, IAU, OpenstreetMap

Boulogne-Billancourt est caractérisée par la densité du bâti. Les espaces verts de la commune

son répartition de façon inégale. À l'Est et à l'Ouest de celle-ci on retrouve principalement des parcs d'une superficie supérieure à 5 000 m², tandis qu'en son centre la superficie des espaces verts est plus faible (entre 1 000 et 5 000 m²). Au nord se situe le bois de Boulogne qui appartient à la ville de Paris et qui profite aux Boulognais. La commune présente également des surfaces en eaux fermées et est bordée à l'ouest par la Seine. Selon le tableau 5.3, les espaces verts représentent 99,50 ha, soit 16,16% de la surface communale.

La comparaison avec la carte de couverture végétale de la figure 5.8, montre que la surface de celle-ci est évidemment supérieure à la surface des espaces verts de la figure 5.7 comme c'est le cas pour les autres communes. Cette couverture correspond à plus de 23% de la surface communale.

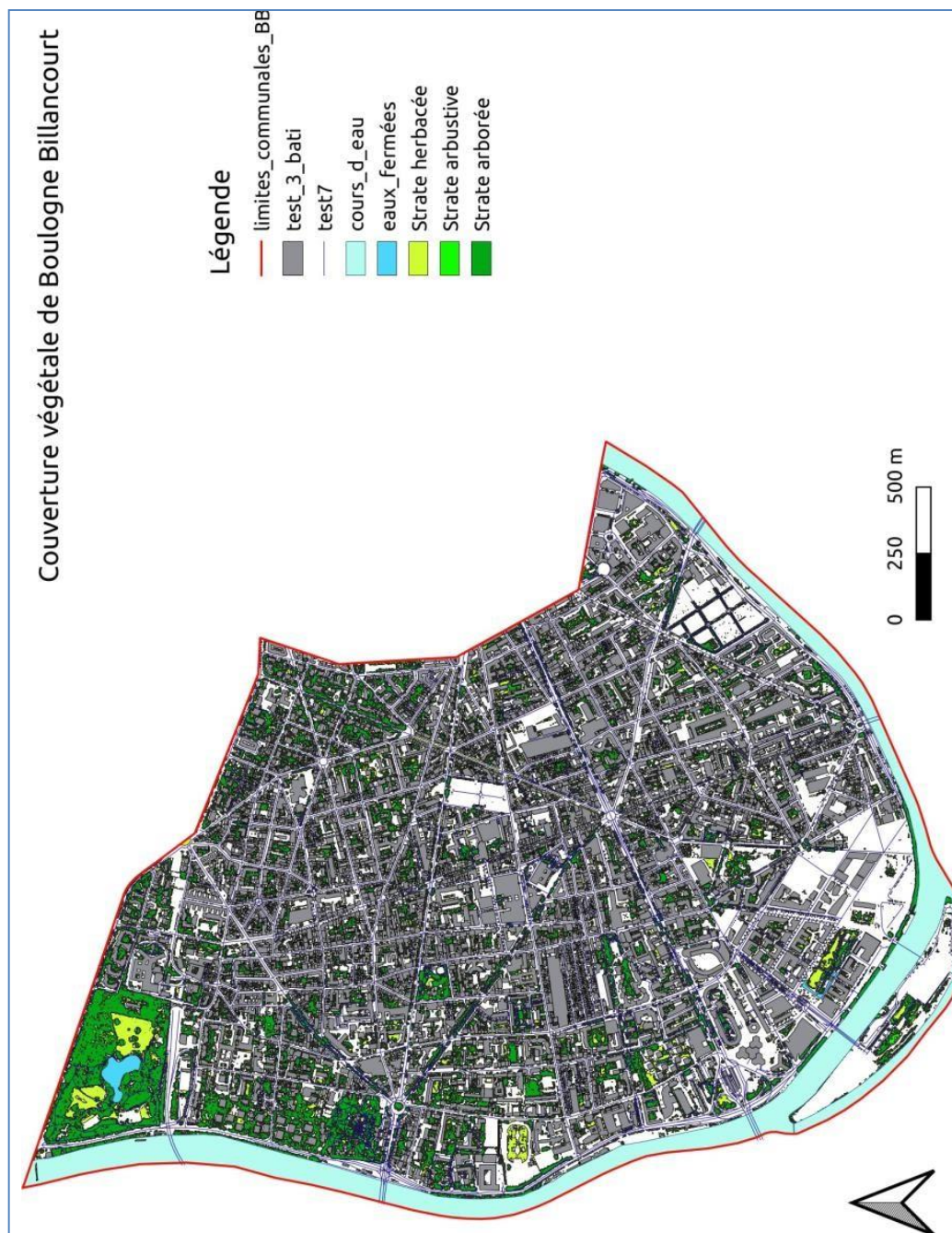


Fig. 5.8 : Couverture végétale de Boulogne-Billancourt obtenue par télédétection. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées; sources IGN, IAU, Openstreetmap

Et si l'on compare avec la carte MOS 81 de 2012 (voir figure 5.9), on observe que les parcs et jardins ainsi que des terrains vacants ont augmenté en nombre et en surface entre 2012 et 2014, ce qui indique que la commune a créé, contrairement aux communes précédemment examinées, de nouveaux espaces verts. Toutefois le bilan du MOS 2012 montre une différence du total des parcs et jardins inférieure de 27,63 ha à nos résultats. Cette différence, ne représente qu'un faible part (4,49%) de la surface communale et est due aux parcs et jardins de petite surface, comme nous l'avons déjà observé pour Bagneux et Bourg-la-Reine.

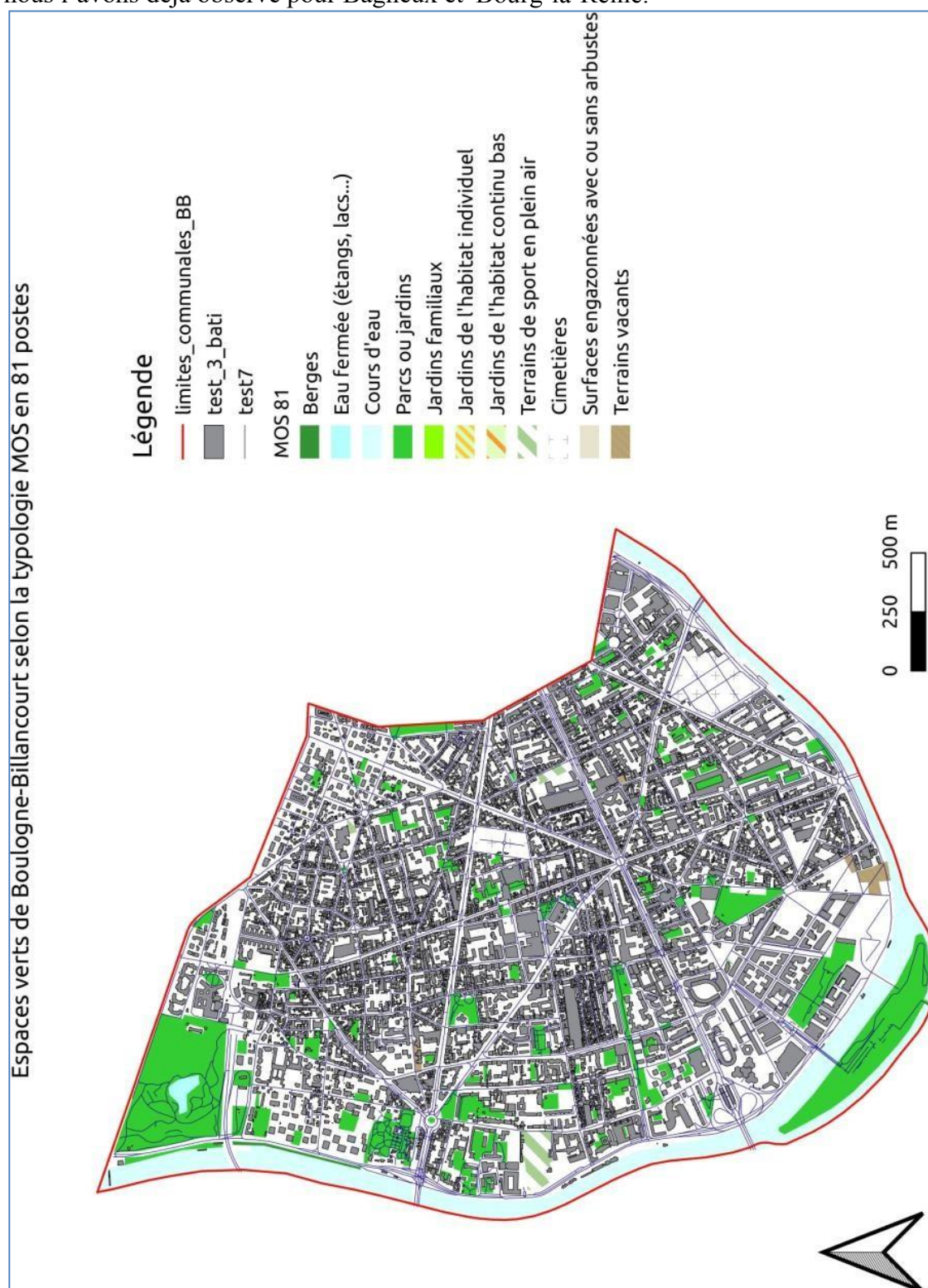


Fig. 5.9 : Carte des espaces verts de Boulogne-Billancourt du MOS en 81 postes 2012. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IAU, Openstreetmap

Code MOS	Intitulé	Ce travail		IAU- MOS 81 postes-2012		Différence surface (ha)
		nombre	Surfaces (ha)	nombre	Surfaces (ha)	
5	Berges	6	2,93	1	0,65	2,28
11	Eau fermée	2	1,37	1	1,05	0,32
12	Cours d'eau	1	50,62	7	49,25	1,37
13	Parcs et jardins de plus de 5000 m ²	36	59,45	28	56,96	2,49
28	Terrains vacants en milieu urbain	2	0,24	0	0	0,24
14	Jardins familiaux	1	0,11	0	0	0,11
15	Jardins de l'habitat individuel	7	1,79	0	0	1,79
17	Parcs et jardins entre 1000 et 5000 m ² (jardins de l'habitat continu bas)	174	38,16	78	14,92	23,24
27	Espaces végétalisés des emprises des voies routières	7	1,70	0	0	1,7
18	Terrains de sport de plein air	1	1,87	4	3,87	-2
26	Cimetières	2	9,38	2	10,34	-0,96
	Total	239	167,61	121	137,02	30,58
	Total parcs et jardins		99,50		71,87	27,63

Surface de la commune		615,4
Couverture végétale		143,38

Tab. 5.3 : Espaces verts de Boulogne-Billancourt selon la typologie du MOS 81 postes - Comparaison entre le présent travail et le MOS 81 2012 (données IAU). Les parcs et jardins sont indiqués par un fond vert clair

Les conclusions de cette section sur les surfaces des espaces verts obtenues avec des données aériennes de moyenne et haute résolution ainsi que la comparaison avec les surfaces obtenues dans le MOS 81 2012 par l'IAU se résument ainsi :

- Notre méthodologie fondée sur l'utilisation des moyens de télédétection à haute résolution d'une part et les moyens des données aériennes en infra-rouge de l'IGN, avec un minimum de photo-interprétation, nous conduit à une évaluation réaliste des surfaces des espaces verts communaux pour trois communes.
- Nos résultats montrent que les parcs et jardins de petites surfaces (moins de 5 000 m²) sont importants pour des villes carencées. Les écarts avec les résultats du MOS 2012 pour les parcs et jardins sont très variables d'une commune à l'autre : Les surfaces obtenues dans ce travail excèdent celles du MOS 2012, de 7,80 ha, 35,74 ha et 27,63 ha respectivement pour Bagneux, Bourg-la-Reine et Boulogne-Billancourt. Ces écarts représentent respectivement 5,94%, 22,7% et 4,49% des surfaces communales.
- Le cas de Bourg-la-Reine est particulièrement frappant à cause de la présence importante de zones pavillonnaires. Les différences pour Boulogne-Billancourt et Bagneux sont très significatives, à cause de la présence dominante d'habitats collectifs et une faible proportion de zones pavillonnaires et de petits jardins.

5.4. Visibilité des alignements d'arbres et des très petits espaces verts

Dans toutes les communes, les cartes montrent des arbres d'alignement le long des rues et dans les cimetières. Le cas du cimetière parisien de Bagneux (figure 5.12) est emblématique. La haute résolution des cartes rend les espaces verts de petite surface et les arbres d'alignement clairement visibles. La figure 5.10 montre un zoom d'un détail de la commune de Boulogne-Billancourt qui fait ressortir la présence d'arbres d'alignement et de petits jardins dans divers ensembles de logements collectifs du quartier.



Fig. 5.10 : Détail de la carte de couverture végétale de Boulogne-Billancourt quartier sud de la place Marcel Sembat.

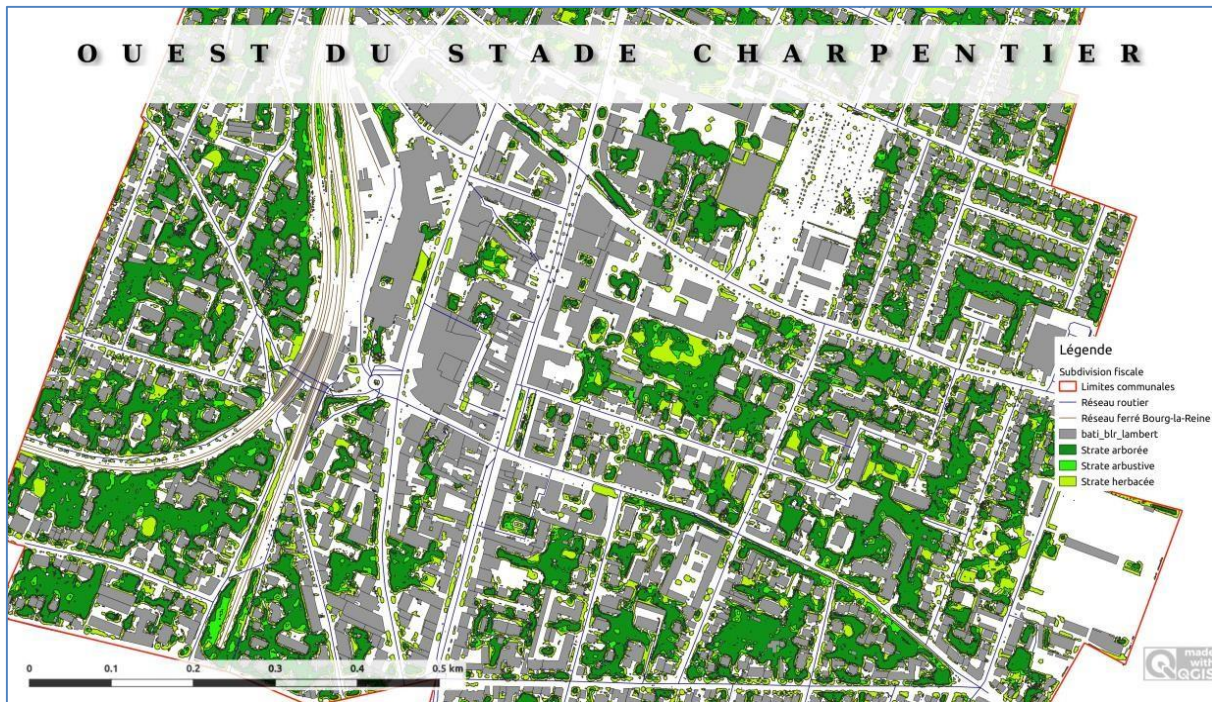


Fig. 5.11 : Détail de la carte de couverture végétale de Bour-la-Reine à l'Ouest du stade Charpentier

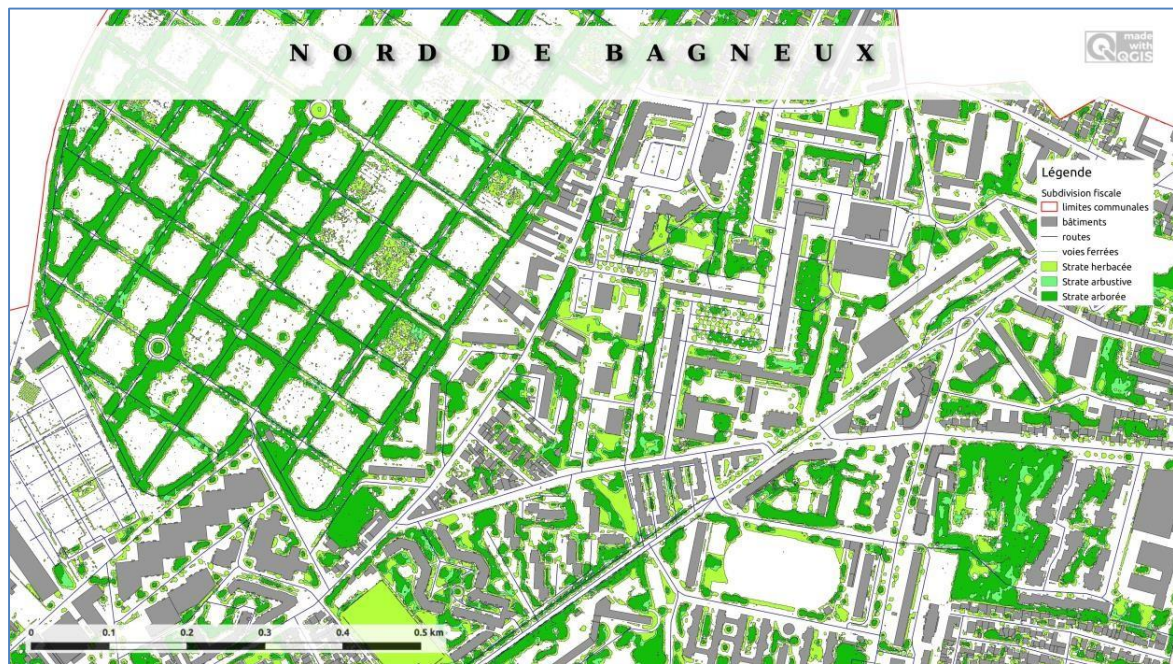


Fig. 5.12 : Détail de la carte de la couverture végétale du quartier du cimetière parisien de Bagneux

Les arbres d'alignement et les petits espaces végétalisés feront l'objet d'une étude ultérieure

6. Statistiques des relevés de terrain de la flore

Nos relevés de terrain des espèces végétales qui ont été faits sur les 29 placettes réparties sur 21 espaces ont permis d'identifier 163 espèces. Nous avons procédé à une analyse factorielle des correspondances selon la méthode indiquée en sous section 4.4. Ceci a conduit à identifier trois groupes très différents d'espèces :

- Le premier groupe (1 relevé unique ne contient que quelques espèces identifiées sur la friche de la Lisette à Bagneux : il s'agit notamment de espèces herbacées de graminées comme la fétuque géante (*Festuca gigantea*), le carex ovale (*Carex ovalis*), et le dactyle d'Ascherson (*Dactylis glomerata* subsp. *lobata* (Drejer) H.Lindb.) (voir figure 4.8).
- Le second groupe comprend 6 relevés effectués sur les trois communes étudiées. Tous ces relevés ont été réalisés dans des espaces présentant des surfaces de pelouse plus ou moins dominante : pelouse, pelouse dominante arborée, arboré dominant et pelouse. En revanche, la taille de l'espace considéré n'influe pas ou peu sur le groupe d'individu puisque l'on retrouve 2 relevés effectués dans des espaces de plus de 5 000 m² et 4 relevés dans des espaces de moins de 5 000 m². On retrouve effectivement une association d'espèces horticoles (saugé d'Afghanistan, rosier, ail des indes, tulipes) et d'espèces sauvages (liseron des haies, vergerette de Buenos Aires, mauve négligée) (voir figure 4.8). La colonisation de ces espaces par des espèces sauvages ou horticoles a été permise par deux mécanismes : d'une part l'abandon de l'entretien classique pour un entretien plus écologique sur ces espaces permettant l'apparition d'espèces sauvages ; d'autre part la proximité de jardins individuels et la dispersion d'espèces horticoles.
- Enfin le troisième groupe d'individu identifié est assez homogène du fait de nombreuses variables (espèces) communes aux différents relevés. Ce groupe intègre des espaces verts de tous types et de toutes superficies (de 1 000 à 5 000 m², de plus de 5 000 m²). On ne retrouve pas non plus de type de végétation dominante dans ce groupe d'individu. On peut néanmoins voir que les espèces rencontrées pour chacun des relevés sont des espèces communes de deux types : les arbres communs des parcs et jardins comme l'érable plane et les espèces herbacées communes dans les espaces fréquentés comme les différentes espèces de géranium, de véronique ou de trèfle (voir Figure 6.1).

On distingue cependant un groupe d'espèces que l'on peut difficilement apparenter à un des 3 groupes d'individus. Il s'agit des espèces que l'on rencontre de façon privilégiée dans le groupe 1 et de façon plus occasionnelle dans les groupes 2 et 3.



Fig. 6.1 : Exemples d'espèces sauvages et horticoles trouvées dans les trois communes étudiées

La diversité quantitative des espèces rencontrées au sein des relevés montre que deux espèces sont présentes dans 65,5 % des relevés effectués. Il s'agit de *Bellis perennis* et de *Taraxacum officinale*. La figure 6.2 représente les fréquences de présence des 21 espèces les plus recensées au cours de l'étude. Ces espèces ont toutes été identifiées sur au moins 20% des relevés soit 6 relevés sur 29. Les fréquences de présence de l'ensemble des espèces s'échelonnent entre 65,5% pour les deux espèces relevées 19 fois sur les 29 placettes, à 3,4% pour les 86 espèces inventoriées une seule fois au cours des relevés de terrain.

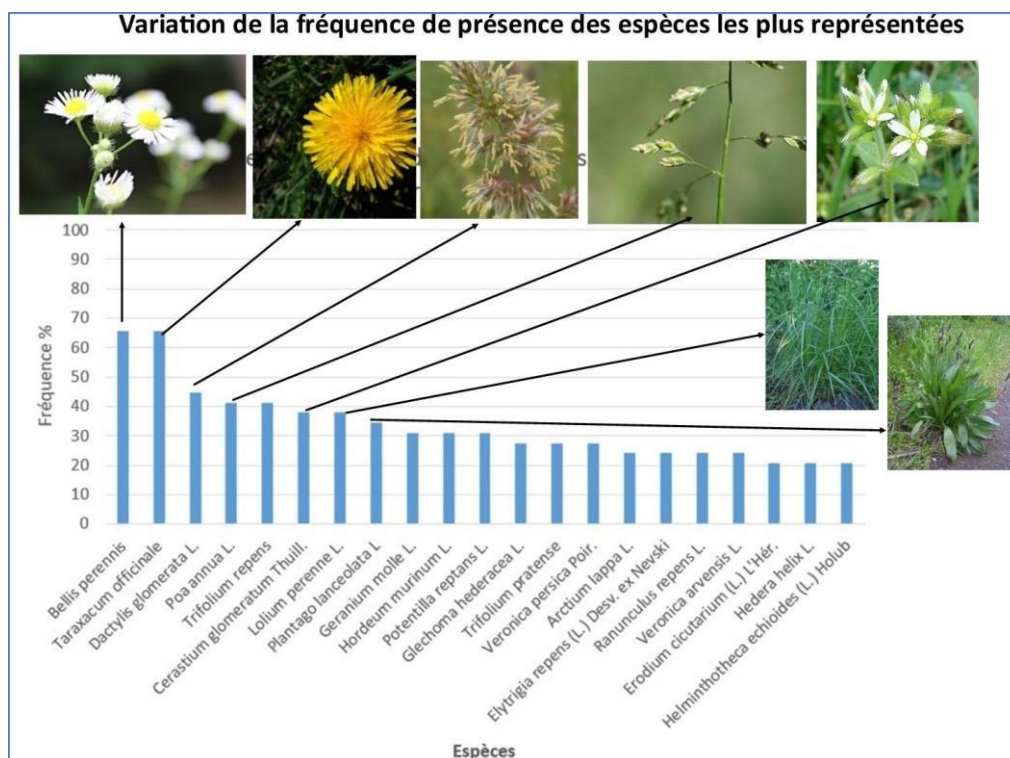


Fig. 6.2 : Variation de la fréquence de présence des espèces les plus représentées lors des relevés de terrain. Réalisation : Héloïse Louise

Parmi les espèces les plus fréquemment observées nous nous sommes intéressés à leur mode de dispersion pour expliquer un lien potentiel avec leur forte fréquence. 4 modes de dispersion ont été identifiés parmi les 21 espèces étudiées :

- 11 espèces (*Dactylis glomerata* L. ; *Trifolium repens* ; *Hordeum murinum* L. ; *Glechoma hederacea* L. ; *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér. ; *Hedera helix* L. ; *Trifolium pratense* ; *Veronica persica* Poir. ; *Arctium lappa* L. ; *Ranunculus repens* L. ; *Elytrigia repens* (L.) Desv. Ex Nevski) ont un mode de dispersion épizoochore, autrement dit, la dispersion des graines se fait grâce aux animaux selon différents processus. Ce type de dispersion permet une dispersion sur de longues distances.
- 5 espèces (*Poa annua* L. ; *Lolium perenne* L. ; *Plantago lanceolata* L. ; *Potentilla reptans* L. ; *Veronica arvensis* L.) ont un mode de dispersion barochore, c'est-à-dire que la dispersion des graines se fait par gravité. La dispersion est assurée uniquement sur une courte distance mais permet à des espèces de coloniser rapidement un même milieu.
- 3 espèces (*Taraxacum officinale* ; *Cerastium glomeratum* Thuill. ; *Helminthotheca echioides* (L.) Holub) ont un mode de dispersion anémochore. C'est donc le vent qui permet la dispersion des graines pour ces espèces. Ce mode de dispersion permet aux graines de parcourir de très longues distances et de coloniser de nouveaux milieux.
- 2 espèces (*Geranium molle* L. ; *Bellis perennis*) ont un mode de dispersion autochore. Ces espèces développent leurs propres moyens de dissémination des graines. Dans ce cas la dispersion ne se fait pas sur de grandes distances.

Ainsi parmi les espèces les plus communément rencontrées lors des relevés de terrain 14 espèces

ont des moyens de dispersion sur de longues ou très longues distances ce qui explique en partie leur fréquence de présence (Figure 6.2). Les 7 autres espèces ont des moyens de dispersion sur de plus courtes distances et colonisent les milieux plus progressivement et plus localement.

6.1. Nombre moyen d'espèces par espace :

163 espèces ont été identifiées lors de l'étude. Il s'agit maintenant de connaître la diversité spécifique des différents types d'espaces selon deux critères utilisés lors de l'échantillonnage : le type de végétation dominant et le type d'espace selon la nomenclature du MOS en 81 postes modifiée.

Concernant le nombre d'espèces relevés selon le type d'espace, les résultats confirment que la taille de l'espace influe sur la diversité spécifique, tout comme le mode de gestion. En moyenne 17,8 espèces ont été relevées dans les parcs et jardins de plus de 5 000m², contre 13 espèces en moyenne dans les parcs et jardins entre 1 000 et 5 000 m². Dans ce cas c'est principalement la taille de l'espace qui influe sur la diversité spécifique.

Dans les espaces en friche, catégorisés comme « espace ouvert à végétation arbustive ou arborée », le nombre moyen d'espèces relevées est de 19,5. Les espaces non entretenus sont donc plus riches en termes de nombre d'espèces. Pour autant ce résultat est à nuancer car nous n'avons étudié qu'un seul espace de ce type (2 placettes au total).

Nous avons ensuite cherché à savoir si le type de végétation dominant influençait le nombre d'espèces recensées, la moyenne du nombre d'espèce par espace a donc été calculée pour chacun des 4 types de végétation utilisés.

- Les espaces les plus pauvres en termes de diversité spécifique sont les espaces de pelouse avec en moyenne 10,6 espèces par placette.
- Les espaces verts présentant des surfaces de pelouse arborée ou arborée dense comprennent en moyenne 16 espèces par placette.
- Enfin les espaces à végétation arborée dominante et pelouse comptent en moyenne 18,6 espèces par placette.

Ces résultats nous permettent de mettre en évidence l'importance de la stratification de la végétation pour la diversité spécifique. En effet les espaces de pelouse, seuls espaces à ne présenter qu'une seule strate de végétation (herbacée) sont les espaces les plus pauvres.

6.2. Indice de diversité bêta :

Les valeurs de l'indice de diversité bêta montrent que les placettes sont très hétérogènes en termes d'espèces présentes. L'indice de diversité bêta le plus élevé est de 0,3 pour deux placettes au sein d'un même espace. Pour les deux calculs d'indice réalisés sur des espaces de même type et présentant un type de végétation similaire, les indices sont de 0,16 et 0,24. Cela signifie que l'on retrouve entre 16 et 24% d'espèces identiques présentes sur deux sites comparables. Ces résultats ne nous permettent donc pas de définir des espèces typiques en fonction du type d'espace ou de végétation. En revanche ces résultats mettent en valeur la diversité des espèces relevées au cours de l'étude.

7. Calcul d'un indice BioMos à partir de la cartographie des espaces verts

7.1. L'indice BioMOS : Définition et adaptation

L'indice BiomOS est un indice créé par Phillippe Clergeau (Muséum national d'histoire naturelle) et Sandrine Liénard (IAURIF) en réponse à la volonté d'intégration de la biodiversité dans les projets d'aménagement de la ville, formulée lors du Grenelle de l'environnement en 2008. Le but

de cet indice est de travailler sur la biodiversité d'une manière globale, en associant biodiversité remarquable et biodiversité ordinaire. L'indice BioMos permet d'obtenir une donnée qualitative relative à la biodiversité spécifique potentielle d'un milieu ou d'un espace. De plus, le fait d'attribuer des pondérations aux espaces en fonction de leur aménagement permet d'apprécier les effets de ces derniers sur la biodiversité.

Cet indice a été construit à partir des données du MOS en 83 postes produites par l'IAU en 2008. Dans un premier temps, tous les espaces déjà connus pour leur potentiel de biodiversité (Zones protégées faune, flore, habitat), ont directement été intégrés, la pondération associée à ces espaces est de 2. Puis, les grandes surfaces naturelles (Ceinture verte, PNR, etc.) structurant l'espace régional ainsi que les grands espaces naturels de plus de 2000 hectares ont été intégrés avec une pondération de 4. Les auteurs ont fait le choix d'apporter une grande importance à ces espaces puisque la relation entre la taille des habitats et leur richesse spécifique est aujourd'hui largement connue (Harris, 1984). Enfin, une pondération a été attribuée à chaque catégorie du MOS en 83 postes selon leur apport en termes de biodiversité. Les pondérations affectées aux espaces de biodiversité dans le MOS, s'échelonnent entre 1 et 0,1 selon le caractère naturel ou semi-naturel de l'espace et le potentiel d'accueil de la faune et de la flore. Les valeurs de pondération établies sur la base du MOS en 83 postes de 2008 (annexe A) ont été adaptées au MOS 81 postes (sous section 4.2). Quatre critères sont à prendre en compte pour évaluer le potentiel de biodiversité, pour l'évaluation écologique des milieux naturels :

- la richesse spécifique, ou le nombre total d'espèces observées sur un site,
- la rareté des espèces végétales,
- le caractère indigène ou non des espèces,
- le caractère endémique ou spécifique des espèces.

à travers l'évaluation de ces critères, différents éléments sont pris en compte comme la taille de l'habitat considéré, la proximité avec d'autres espaces naturels ou semi-naturels (les jardins ruraux ont une pondération plus importante que les jardins individuels), le mode de gestion présumé et enfin la proximité d'infrastructures pouvant permettre la diffusion d'espèces invasives.

Pour autant dans l'étude menée par Clergeau et Liénard (Liénard et Clergeau 2011), le quatrième critère n'a pas été retenu. En effet l'évaluation de ce critère nécessite des relevés de terrain, alors que la méthode choisie pour l'élaboration de l'indice BioMos dépend de celle de l'élaboration du MOS, soit la photo-interprétation. Les pondérations affectées à chaque espace du MOS relatif à un milieu naturel, semi-naturel ou ouvert, sont donc la résultante des seuls trois critères évoqués précédemment. Les postes du MOS relatifs aux espaces bâtis, à l'activité industrielle, à certains équipements ou encore à la voirie se voient attribuer une pondération de 0 puisque leur potentiel de biodiversité est nul. Les pondérations affectées sont donc théoriquement proportionnelles au potentiel de biodiversité des espaces.

Cet indice permet aussi bien de caractériser un espace que de dresser un bilan à l'échelle d'une commune.

En effet on peut obtenir un indice du potentiel de biodiversité par commune en calculant la somme des surfaces pondérées correspondant à chaque poste du MOS, et en rapportant celle-ci à la surface totale de la commune. La formule de calcul est la suivante :

$$I_{BioMOS} = \frac{\sum_{i=1}^n Ibdv_i \times S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

- I_{BioMOS} : Indice global BioMOS
- $Ibdv_i$: indice de biodiversité d'un habitat i
- S_i : surface de l'habitat
- $\sum_{i=1}^n S_i$: surface totale du territoire considéré

On peut ainsi obtenir une cartographie du potentiel de biodiversité à l'échelle régionale, permettant ainsi de souligner l'apport de chaque commune. Il s'agit alors d'un outil d'aide à la décision, puisque l'on peut dès lors, cibler des communes sur lesquelles les espaces de biodiversité ne sont pas assez importants, ou au contraire les espaces à préserver. Cet outil, est également facile à mettre en place, et correspond à l'ensemble des milieux, urbains ou ruraux. En effet, du fait de l'utilisation du MOS en 83 ou 81 postes, la typologie des espaces est suffisamment précise pour s'adapter au milieu urbain ou les espaces, notamment naturels, sont divers et fragmentés. Enfin il faut souligner le fait que cet indice permet une visualisation des potentielles trames vertes et bleues à différentes échelles.

7.2. Proposition d'une réévaluation des indices des catégories d'habitat correspondant aux catégories du MOS 81 à partir de l'enquête de terrain

Notre enquête de terrain a montré que les petits jardins entre 1 000 et 5 000 m², présentent une diversité réelle de la flore qui justifie de hausser la valeur de l'indice de la valeur de 0,1 (Liénard et Clergeau 2011) à une valeur supérieure pour les différentes strates paysagères à l'exception de la strate pelouse comme le montre le tableau 7.1. À l'inverse la diversité des parcs et jardins de plus de 5000 m² s'est avérée inférieure à celle qui avait été retenue.

Strate paysagère	Parcs et jardins de plus de 5000 m ²		Parcs et jardins de moins de 5000 m ²	
	Liénard et Clergeau	Ce travail	Liénard et Clergeau	Ce travail
Pelouse	0,6	0,4	0,3	0,2
Pelouse dominante, strate arboré		0,4		0,4
Strate arborée dominante, pelouse		0,5		0,4
Strate arborée dense		(0,5)		0,4

Tab. 7.1 : Valeurs de l'indice BioMOS pour différentes strates paysagères/types d'espaces verts

7.3. Indices BioMOS des trois communes carencées objet de l'enquête de terrain

La cartographie de l'ensemble des espaces verts des communes étudiées nous permet de calculer le total des surfaces des entités numérisées par type d'espace identifié. Ces types sont caractérisés à la fois selon la typologie du MOS 81 modifiée et selon celle correspondant aux strates paysagères (types de végétation dominante). Ces superficies peuvent ensuite être utilisées pour calculer l'indice BioMos

La biodiversité ordinaire des espaces verts pour chaque commune est détaillée par les tableaux 7.2 (Bagneux), 7.3 (Bourg-la-Reine) et 7.4 (Boulogne-Billancourt).

Dans chacun de ces tableaux, on pondère le total des surfaces d'un même type par un indice BioMOS correspondant à celui-ci selon le tableau 7.1. L'indice BioMOS communal est égal au total des surfaces pondérées rapporté à la surface communale.

Code MOS	Type de végétation dominant	Nom bre	Part dans le total	Surface (ha)	Part de la surface totale (%)	Indice de pondération biosmos	Surface pondérée (ha)
13	Pelouse +5000	1	0,57 %	0,71	0,54 %	0,4	0,285
	pelouse dominante arborée +5000	12	6,82 %	10	7,61 %	0,4	4
	arboré dominant +5000	6	3,41 %	11,23	8,54 %	0,5	5,616
	arboré dense +5000	0	0,00 %	0	0,00 %	0,5	0
17	Pelouse -5000	19	10,80 %	3,61	2,75 %	0,2	0,722
	pelouse dominante arborée -5000	50	28,41 %	11	8,37 %	0,4	4,4
	arboré dominant -5000	14	7,95 %	2,9	2,21 %	0,4	1,16
	arboré dense -5000	5	2,84 %	1,2	0,91 %	0,4	0,48
15	JHI pelouse	0	0,00 %	0	0,00 %	0,3	0
	JHI pelouse dominante arborée	19	10,80 %	3,73	2,84 %	0,3	1,12
	JHI arboré dominant	27	15,34 %	8,56	6,51 %	0,3	2,568
	JHI arboré dense	3	1,70 %	1,45	1,10 %	0,3	0,43
18	Terrains de sport pelouse	5	2,84 %	6,2	4,72 %	0,1	0,62
	Terrains de sport pelouse dominante arborée	1	0,57 %	0,35	0,27 %	0,1	0,351
27	ETF pelouse	1	0,57 %	0,17	0,13 %	0,6	0,101
	ETF pelouse dominante arborée	3	1,70 %	0,94	0,72 %	0,6	0,566
	ETF arboré dominant	2	1,14 %	0,86	0,65 %	0,6	0,515
4	Espaces ouverts à végétation arbustive ou herbacée	1	0,57 %	1,88	1,43 %	0,6	1,126
14	jardins familiaux	2	1,14 %	0,51	0,39 %	0,3	0,152
8	vergers	1	0,57 %	0,14	0,11 %	0,6	0,082
9	horticulture	1	0,57 %	0,14	0,11 %	0,1	0,014
26	cimetière arboré	1	0,57 %	61,82	47,04 %	0,15	9,273
	cimetière	1	0,57 %	3,88	2,95 %	0,1	0,388
28	Terrains vacants	1	0,57 %	0,15	0,11 %	0,6	0,09
	total	176	100,00 %	131,43	100,00 %		33,75

Surface pondérée totale (ha)	33,75
surface du territoire communal (ha)	417,84
indice biosmos Communal	0,081

Tab. 7.2 : Indice BioMOS de la commune de Bagneux

	Code MOS	Nombre	Part dans le total	Surface (ha)	Part de la surface totale (%)	Indice de pondération biomos	Surface pondérée (ha)
13	PeJ +5000 pelouse dominante arborée	1	0,66 %	0,65	1,26 %	0,4	0,26
	PeJ +5000 arboré dominant et pelouse	1	0,66 %	1,09	2,12 %	0,4	0,547
17	PeJ 1000 à 5000 pelouse	6	3,97 %	0,82	1,59 %	0,2	0,164
	PeJ 1000 à 5000 pelouse dominante arborée	23	15,23 %	4,93	9,58 %	0,4	1,973
	PeJ 1000 à 5000 arboré dominant et pelouse	18	11,92 %	4,13	8,03 %	0,4	1,653
	PeJ 1000 à 5000 arboré dense	2	1,32 %	0,23	0,45 %	0,4	0,092
15	JHI arboré dense	5	3,31 %	1,58	3,07 %	0,2	0,474
	JHI arboré dominant et pelouse	20	13,25 %	9,71	18,87 %	0,3	2,913
	JHI pelouse dominante arborée	63	41,72 %	22,25	43,25 %	0,3	6,674
	JHI pelouse	1	0,66 %	0,74	1,44 %	0,3	0,222
14	Jardins familiaux	1	0,66 %	0,03	0,06 %	0,3	0,008
18	Terrains de sport pelouse	1	0,66 %	1,98	3,85 %	0,1	0,198
26	Cimetière	1	0,66 %	2,08	4,04 %	0,1	0,208
28	Terrains vacants	1	0,66 %	0,06	0,12 %	0,6	0,038
27	ETF pelouse	3	1,99 %	0,41	0,80 %	0,6	0,248
	ETF pelouse dominante arborée	1	0,66 %	0,1	0,19 %	0,6	0,064
	ETF arboré dense	3	1,99 %	0,66	1,28 %	0,6	0,397
	Total	151	100,00 %	51,479	100,00 %		16,136

Surface pondérée totale (ha)	16,136
surface du territoire communal (ha)	185,93
indice biomos Communal	0,087

Tab. 7.3 : Indice BioMOS de la commune de Bourg-la-Reine

Code MO S	Type de végétation dominant	Nombre	Part dans le total	Surface (ha)	Part de la surface totale (%)	Indice de pondération biomos	Surface pondérée (ha)
12	Cours d'eau	1	0,42 %	50,62	30,20 %	0,6	30,372
11	Eaux fermées	2	0,84 %	1,37	0,82 %	0,6	0,822
5	Berges	6	2,51 %	2,93	1,75 %	0,6	1,758
13	Pelouse +5000	1	0,42 %	1,61	0,96 %	0,4	0,643
	pelouse dominante arborée +5000	17	7,11 %	17,06	10,18 %	0,4	6,82
	arboré dominant +5000	15	6,28 %	36,08	21,53 %	0,5	18,04
	arboré dense +5000	3	1,26 %	4,7	2,80 %	0,5	2,35
17	Pelouse -5000	8	3,35 %	1,29	0,77 %	0,2	0,259
	pelouse dominante arborée -5000	101	42,26 %	22,4	13,37 %	0,4	8,96
	arboré dominant 5000	62	25,94 %	13,86	8,27 %	0,4	5,54
	arboré dense -5000	3	1,26 %	0,6	0,36 %	0,4	0,24
14	jardins familiaux	1	0,42 %	0,11	0,07 %	0,3	0,033
15	JHI pelouse dominante arborée	2	0,84 %	0,33	0,20 %	0,3	0,099
	JHI arboré dominant et pelouse	5	2,09 %	1,46	0,87 %	0,3	0,438
18	Terrains de sport pelouse	1	0,42 %	1,86	1,11 %	0,1	0,186
26	cimetières	2	0,84 %	9,38	5,60 %	0,1	0,938
28	Terrains vacants arboré dominant et pelouse	1	0,42 %	0,16	0,10 %	0,6	0,096
	Terrains vacants pelouse dominante arborée	1	0,42 %	0,07	0,04 %	0,6	0,972
27	EVV +25m pelouse	1	0,42 %	0,16	0,10 %	0,6	0,979
	EVV +25m pelouse dominante arborée	4	1,67 %	1,26	0,75 %	0,6	0,755
	EVV 25m arboré dense	2	0,84 %	0,28	0,17 %	0,6	0,167
	Total	239	100,00 %	167,59	100,00 %		78,67
	Total espaces verts						47,477

Surface pondérée totale (ha)	78,67
Surface pondérées espaces verts (ha)	47,477
surface du territoire communal (ha)	615,4
indice biomos total Communal	0,128
Indice biomos espaces verts communal	0,077

Tab. 7.4 : Indice BioMOS de la commune de Boulogne-Billancourt

On remarque que le total des surfaces pondérées rapporté à la surface totale donne pour les trois communes, un indice BioMOS voisin (variant de à 0,087), si l'on ne prend en considération pour Boulogne-Billancourt que le total des espaces verts (hors cours d'eau et eau fermée).

7.4. Estimation de la « surface d'espaces verts publics et ouverts au public par habitant »

Les surfaces pondérées d'espaces verts des tableaux 7.1, 7.2 et 7.3 couvrent des zones publiques et privées. Le calcul du ratio « surface des espaces verts publics et ouverts au public par habitant » suppose d'identifier la part publique de ces surfaces végétalisées. Ces chiffres, qui incluent par pondération la dimension de la biodiversité, peuvent être confrontés à la référence de 10 m²/habitant, de l'OMS. En ce qui concerne l'identification des espaces verts publics un premier niveau d'information est fourni par les cartes d'espaces verts de l'IAU (<https://cartoviz.iau-idf.fr>). Ces cartes fondées sur des enquêtes de l'IAU de 2017 permettent de repérer les parcs, et autres espaces publics avec leur propriétaire (ici la commune). Ensuite une comparaison avec nos cartes (Figures 5.1, 5.4 et 5.7) permet de faire un premier tri. D'autres informations récentes issues des documents des communes complètent la liste des espaces verts publics. Une analyse complémentaire permet de les compléter par les espaces ouverts au public, que l'on trouve autour de bâtiments d'habitats collectifs.

On obtient ainsi une estimation des surfaces des espaces verts espaces publics et privés pour produire le tableau 7.4 des surfaces des espaces verts (hors espaces non végétalisés).

Communes	Bagneux	Bourg-la-Reine	Boulogne-Billancourt
Population (2015)	39722	20635	117931
Surfaces totales d'espaces verts (m ²)	338217	159877	474765
Ratio (m ² totaux/habitant)	8,45	7,70	4,03
Surfaces d'espaces verts publics et ouverts au public (m ²)	232969	12340	385971
Ratio (m ² /habitant)	4,81	0,59	3,24

Tab. 7.5 : Surfaces pondérées des espaces verts et surface des espaces verts publics et ouverts au public par habitant dans les communes étudiées

On constate que la pondération affecte fortement les ratios des trois communes avec des différences notables. Le fait que Bourg-la-Reine a un taux élevé de jardins privés et un faible nombre de jardins publics, en fait une commune particulièrement carencée en espaces verts. Toutefois ses jardins privés sont un facteur très favorable pour construire une trame verte en pas japonais. La commune de Boulogne-Billancourt est globalement carencée mais de plus avec un faible potentiel de trame verte, du fait que d'une part, les espaces verts publics sont inégalement répartis et d'autre part les jardins privés sont en faible nombre et de surface réduite. Pour cette ville, il serait hautement souhaitable d'en créer. La commune de Bagneux est dans une situation intermédiaire. En conclusion, on voit aussi, au travers des jardins privés, le potentiel de trame verte des communes et la nécessité de créer de nouveaux espaces verts.

8. Conclusion

L'usage de données d'images satellites en mode multispectral et panchromatique à haute résolution, montre que l'on peut produire, une carte de couverture végétale du département des Hauts-de-Seine en distinguant les strates arborées, herbacée, sol végétalisé et sol nu, des zones urbanisées.

L'usage de données aériennes de l'IGN à très haute résolution (50 cm) et analyse de la texture des images, a permis de produire des cartes communales de six communes : cinq carencées en espacesverts (Bagneux, Bourg-la-Reine, Boulogne-Billancourt et Fontenay-aux-Roses et Malakoff), et une commune non carencée, Chaville. Les cartes de couverture végétale montre que l'on peut obtenir des informations quantitatives sur tous les espaces verts quelles que soient leur surface, notamment les petits jardins. Ces cartes sont produites sans photo-interprétation, sauf sur les cas particuliers de l'eau (fleuve, étang) et des pelouses artificielles (stades).

Les mêmes données aériennes à haute résolution (50 cm) de l'IGN dans le proche infra-rouge ont permis par numérisation l'élaboration de cartes des espaces verts communaux pour trois communes (Bagneux, Bourg-la-Reine et Boulogne-Billancourt) et une évaluation réaliste des surfaces de ceux-ci. La compatibilité de la typologie utilisée avec celle du Mode d'Occupation des Sols 81 postes permet la comparaison avec les données du MOS 2012 (données IAU). Le résultat le plus manifeste de la présente étude est l'écart important entre ses résultats et ceux du MOS : la surface des espaces verts est systématiquement supérieure à celle relevées par le MOS 2012.

Nos résultats établissent que les parcs et jardins de petite surface (moins de 5 000 m²) sont importants pour des villes carencées. Les écarts avec les résultats du MOS 2012 sont très variables d'une commune à l'autre : Les surfaces obtenues dans ce travail excèdent celles du MOS 2012, de 10,82 ha, 37,65 ha et 27,63 ha respectivement pour Bagneux, Bourg-la-Reine et Boulogne-Billancourt. Ces écarts représentent 2,58%, 20,24% et 4,48% des surfaces communales respectivement pour ces communes.

Le cas de Bourg-la-Reine est frappant à cause de la présence importante de zones pavillonnaires. Les différences pour Boulogne-Billancourt et Bagneux sont très significatives, à cause de la présence dominante d'habitats collectifs et d'une faible présence de zones pavillonnaires et de leurs petits jardins. Ceci est particulièrement important en zone urbaine dense, où la seule possibilité de construire des corridors écologiques (en pas japonais) pour conforter la trame verte passe par ces petits espaces verts en pleine terre.

Un inventaire de la flore sur une sélection de parcs et jardins (plus de 5 000 m² et entre 1 000 et 5 000 m²) a été réalisé. Le nombre d'espèces végétales observé varie entre des moyennes situées entre 10 et 19 espèces et caractérise le degré de richesse en biodiversité ordinaire des parcs et jardins des sites étudiés.

Les résultats de l'enquête ont permis de revisiter l'indice de pondération des surfaces, dit indice BioMOS de Liénard et Clergeau (Liénard et Clergeau 2011). Il en résulte que nous avons calculé un indice BioMOS communal pour chaque commune étudiée, qui s'avère avoir une valeur commune proche de 0,08, une caractéristique probable du caractère carencé de ces communes. L'évaluation des surfaces des jardins privés, offre une opportunité de mesurer le potentiel de développement de la trame verte de ces villes.

Cette étude devrait se poursuivre à court terme sur les 19 autres communes carencées du département. On peut concevoir que notre méthode soit généralisée à d'autres départements en Île-de-France. Cela donne une nouvelle perspective au paradigme « Améliorer la biodiversité ordinaire en ville est le levier essentiel de l'adaptation au changement climatique ».

Annexes

A. Nomenclature du Mode d'occupation sols (MOS) en 81 postes

Tableau. A.1 : Nomenclature à 81 postes du Mode d'occupation du sol (Mos)

Code	Libellé	Définition
1	Bois ou forêts	Végétation d'arbres, arbustes, buissons pouvant résulter de régénération ou de recolonisation arbustive. Surface composée d'au moins 40 % d'arbres de 5 m de haut (sauf les vergers), y compris les landes arborées.
2	Coupes ou clairières en forêts	Clairières, coupes de régénération, coupes rases, semis, y compris les coupes de peupleraies.
3	Peupleraies	Peupliers cultivés, qu'ils soient plantés ou issus de rejets e (dans le cas d'une peupleraie de 2 génération), représentant au minimum 75 % du couvert relatif du peuplement. Lorsque les arbres sont majoritairement non recensables, au moins 100 tiges à l'hectare doivent être présentes. La peupleraie cultivée est une formation arborée individualisée du fait de la sylviculture spécifique qui lui est appliquée (cycle court).
4	Espaces ouverts à végétation arbustive ou herbacée	Zones humides, marais, landes non arborées, végétation clairsemée ou herbacée, friches agricoles y compris les jachères et gels pluriannuels, carrières abandonnées avec végétation, terrains de manœuvres, emprises de déboisement des lignes électriques ou aqueducs
5	Berges	Berges de voies d'eau sans activités portuaires ou de stockage, non bâties et non aménagées en espaces verts.
6	Terres labourées	Cultures annuelles, y compris les jachères avec traces de labours, à l'exclusion des maraîchages et cultures florales.
7	Prairies	Surfaces en herbe sauf les gazons. Principalement pâturées, mais dont le fourrage peut être récolté, y compris celles des centres équestres. On peut y trouver des jachères.
8	Vergers, pépinières	Pépinières et cultures fruitières de plus de 1 000 m ² homogènes ou mélangées et de production commerciale. Éventuellement, la vigne sera classée dans ce thème ainsi que les vergers abandonnés ou en friche.
9	Maraîchage, horticulture	Cultures intensives annuelles de plein air, de plein champ, cultures légumières (salades, etc.), les maraîchages sans serre, ni châssis, les cultures florales, etc.
10	Cultures intensives sous serre	Cultures sous serre, châssis, arceaux.
11	Eaux fermées (étangs, lacs, etc.)	Surfaces en eau d'au moins 500 m ² , y compris les étangs des parcs, les nappes des fonds de gravières et les bassins de rétention.
12	Cours d'eau	Cours d'eau permanents sans restriction de largeur maximum, y compris les canaux
13	Parcs ou jardins	Parcs et jardins (publics ou privés) dont la superficie est supérieure à environ 5 000 m ² . Dans le cas d'une très grande propriété dont une partie est boisée, les diverses composantes sont dissociées (en bois, parc, eau, etc.). Ils peuvent disposer d'équipements pour le public (aire de jeux).

14	Jardins familiaux	Jardins, vergers, potagers sur des parcelles indépendantes de l'habitat, d'usage familial et non de production agricole.
15	Jardins de l'habitat individuel	Jardins d'agrément, potagers ou vergers liés à l'habitat Jardins de l'habitat individuel individuel et d'une superficie supérieure à 1 000 m ² et inférieure à 5 000 m ² environ par parcelle.
Code	Libellé	Définition
16	Jardins de l'habitat rural	Jardins d'agrément, potagers ou vergers liés à l'habitat rural et d'une superficie supérieure à 1 000 m ² et Jardins de l'habitat rural inférieure à 5 000 m ² environ par parcelle. Les jardins hors agglomération avec abris, cabanes, etc., sont classés dans ce poste.
17	Jardins de l'habitat continu bas	Jardins d'agrément, potagers ou vergers liés à l'habitat et d'une superficie supérieure à 1 000 m ² et inférieure à Jardins de l'habitat continu bas 5 000 m ² environ par parcelle. Les jardins potagers des châteaux et ceux des écoles sont inscrits à ce poste.
18	Terrains de sport en plein air	Terrains en plein air autres que tennis (terrains de Terrains de sport en plein air football, athlétisme, rugby, etc.).
19	Tennis découverts	Terrains de tennis identifiés par photo-interprétation, Tennis découverts qu'ils soient publics ou privés
20	Baignades	Zones de baignade en plein air aménagées dans les Baignades parcs de loisirs essentiellement
21	Parcs d'évolution d'équipements sportifs	Pistes de rollers et pistes de cross, stands de tir Parcs d'évolution découverts. Le circuit Carole est référencé dans ce d'équipements sportifs poste.
22	Golfs	Parcs d'évolution pour la pratique du golf, y compris les bâtiments.
23	Hippodromes	Équipements pour les courses de chevaux de grandes surfaces ouverts au public : Auteuil, Maisons-Laffitte. Les centres équestres sont classés en poste 54.
24	Camping, caravaning	Terrains de camping et de caravaning, y compris les parcs résidentiels avec mobil-homes. Les caravanes isolées implantées sur un lotissement individuel de manière permanente seront classées dans le poste 36 « Habitat autre », ainsi que les aires d'accueil des gens du voyage.
25	Parcs liés aux activités de loisirs	Parcs animaliers, zoos, parcs d'attractions (réservés aux aires de loisirs non bâties), Eurodisney, parc Astérix, zoo de Vincennes, etc., centres de loisirs sans hébergements. Les aires de loisirs proprement dites sont distinguées des parkings, équipements hôteliers, espaces boisés, etc.
26	Cimetières	L'emprise totale est considérée, y compris les zones d'extension.
27	Surfaces engazonnées avec ou sans arbustes	Surfaces en herbe non agricoles. Elles constituent les espaces en herbe associés : - aux infrastructures (délaissés d'autoroutes entretenus) avec ou sans arbres ; - aux terrains de manœuvres militaires ; - aux abords des pistes d'aérodromes ; - aux surfaces engazonnées des zones d'activités et commerciales ; - aux châteaux ou similaires (grandes pelouses décoratives non arborées).

28	Terrains vacants	Terrains vagues, terrains libres, non bâtis, situés à l'intérieur de la trame urbaine.
Code	Libellé	Définition
29	Habitat individuel	Lotissements et constructions individuelles. Pour les parcelles de plus de 1 000 m ² , il ne sera pris en compte que les bâtiments plus une bande de 10 m, à rattacher si possible à la voirie.
30	Ensembles d'habitat individuel identique	Ensembles d'habitations réalisés par un même promoteur, maisons le plus souvent identiques et disposées régulièrement.
31	Habitat rural	Groupements de bâtiments espacés de moins de 100 m, majoritairement de forme rurale de 1 à 2 niveaux, exceptionnellement 3, édifiés en continuité, formant un noyau bâti, comportant dans sa partie centrale un point de convergence ou un point particulier (monument, église), incluant des bâtiments de ferme, comprenant une structure de voirie dont la faible largeur et le tracé témoignent d'une voirie d'origine villageoise. Les châteaux seront classés en habitat continu bas pour le bâtiment lui-même, et en village pour les dépendances.
32	Habitat continu bas	Habitat R+1 à R+3. Les zones concernées sont surtout linéaires, en bordure de voirie dans les faubourgs et les centres anciens et dans les nouveaux quartiers « maisons de ville ». Les châteaux (sauf ceux ouverts au public).
33	Habitat collectif continu haut	Habitat R+4 à R+7. Il s'agit de centres urbains (immeubles haussmanniens ou ceux en brique de l'immédiat après-guerre). S'il existe des jardins dans ces zones, ils sont traités en espaces verts.
34	Habitat collectif discontinu	Habitat R+4 à R+12 et plus. Ensembles relativement récents. Toute la zone concernée par l'emprise de ce type d'habitat est cernée. Sont indiqués à l'intérieur, les parkings, espaces verts, commerces, aires de jeux faisant partie intégrante de l'ensemble et repérés en tant que tels
35	Prisons	Emprise totale de la prison.
36	Habitat autre	Hôtels (hors zones d'activités), auberges de jeunesse, centres d'accueil, centres de vacances et de loisirs, foyers de travailleurs et d'étudiants, couvents, séminaires, maisons de retraite, habitat précaire ou mobile (caravanes ou mobil-homes isolés).
37	Production d'eau	Usines d'eau potable, châteaux d'eau, aqueduc
38	Assainissement	Usines de traitement des eaux usées.
39	Électricité	Postes de transformation, usines de production.
40	Gaz	Installations de stockage.
41	Pétrole	Installations de production, raffinage et stockage.
42	Infrastructures autres	Usines de traitement de déchets, centrales thermiques, chaufferies urbaines, etc.
43	Activités en tissu urbain mixtes	Activités à caractère industriel (en locaux d'activités, laboratoires, entrepôts, ateliers, etc.) dispersées dans des zones d'habitat, formant ainsi un tissu mixte, mais qui sont individualisées par rapport à l'habitat. Se trouvent classées dans ce poste les activités de production animale : chenils, haras, installations avicoles, etc.

Code	Libellé	Définition
44	Grandes emprises d'activités	Emprises affectées à l'activité d'une seule entreprise, de type industriel. L'emprise peut couvrir plusieurs îlots entiers. Les parkings et grands espaces vacants sont repérés comme tels.
45	Zones ou lotissements affectés aux activités	Activités regroupées sur un territoire propre issu d'un développement spontané (ex : Plaine-Saint-Denis) ou programmées (dans le cadre d'un lotissement ou d'une ZAC). Par exemple : la zone d'activités de Paris Nord II ou celle de Courtabœuf.
46	Entreposage à l'air libre	Zones de stockage de véhicules neufs, de caravanes, de matériaux de construction, scieries, casses de véhicules, y compris les zones portuaires.
47	Entrepôts logistiques	Entrepôts logistiques dont la surface est supérieure à 10 000 m ²
48	Grandes surfaces commerciales	Établissements dont la surface commerciale est supérieure à 5 000 m ² . Il peut s'agir de centres commerciaux régionaux ou locaux. La zone entière est cernée à l'exclusion des parkings, espaces verts repérés comme tels.
49	Autres commerces	Établissements dont la surface de vente est comprise entre 400 et 5 000 m ² . La zone entière est cernée à l'exclusion des parkings, espaces verts repérés comme tels, supermarchés, magasins populaires, commerces spécialisés, chaînes de restaurants, chaînes de restauration rapide.
50	Grands magasins	Grands magasins, situés majoritairement à Paris.
51	Stations-service	La zone entière est concernée, située en ville, en zone commerciale, sur les aires d'autoroutes, etc.
52	Bureaux	Bureaux de plus de 5 000 m ² .
53	Installations sportives couvertes	Installations sportives couvertes, y compris les tennis et les stands de tir couverts.
54	Centres équestres	Bâtiments, box et carrières, à l'exclusion des pâturages
55	Piscines couvertes	Établissements qui accueillent le public pour une activité nautique.
56	Piscines en plein air	Bassins artificiels en plein air y compris les bassins biologiques, à l'exclusion des piscines privatives de petites dimensions.
57	Autodromes	Installations sportives permanentes comprenant une piste de vitesse ou routière, comme le circuit de Montlhéry.
58	Enseignement de premier degré	Écoles maternelles, primaires, du secteur public ou privé. La zone entière est cernée à l'exclusion des parkings, espaces verts, équipements sportifs, repérés comme tels.
59	Enseignement secondaire	Établissements, collèges ou lycées, du secteur public ou privé.
60	Enseignement supérieur	Établissements du secteur public ou privé.
61	Enseignement autre	Établissements du secteur public ou privé.
62	Hôpitaux, cliniques	Hôpitaux publics ou privés, cliniques.
63	Autres équipements de santé	Dispensaires, instituts médico-pédagogiques, centres de PMI et autres établissements de santé.

Code	Libellé	Définition
64	Grands centres de congrès et d'expositions	Lieux d'accueil d'événements culturels, artistiques, professionnels : Villepinte, porte de Versailles, etc.
65	Équipements culturels et de loisirs	Musées, certaines bibliothèques, les châteaux ouverts au public.
66	Sièges d'administrations territoriales	Préfectures, sous-préfectures, conseils généraux, sièges d'administrations départementales.
67	Équipements de missions de sécurité civile	Commissariats, gendarmeries, casernes de pompiers.
68	Équipements d'accès limité au public	Immeubles de bureaux ou d'activités de grandes administrations, DDE, DDA, DASS, cadastre, Sécurité sociale, ministères, ambassades, grandes installations publiques y compris militaires, installations radioélectriques.
69	Mairies	Sièges de l'administration communale, y compris les annexes et maisons communales.
70	Marchés permanents	Lieux physiques identifiés permanents de rassemblements à but commercial.
71		Bâtiments aménagés pour la pratique d'une religion.
72	Autres équipements de proximité	Crèches, locaux municipaux annexes, centres d'action sociale, locaux d'activités socio-éducatives, MJC, conservatoires, écoles d'art, bibliothèques municipales, bâtiments d'activités de loisirs, bureaux de poste, centre de tri PTT, autres équipements locaux, péages d'autoroutes, et écluses
73	Emprises de transport ferré	Faisceaux de triage, gares, installations d'entretien du matériel, voies ferrées y compris les remblais et déblais.
74	Voies de plus de 25 m d'emprise	Voies d'une largeur > 25 m d'immeuble à immeuble, y compris les bretelles d'accès, talus de remblais et déblais, échangeurs en entier. Les péages sont inscrits dans le poste 72.
75	Parkings de surface	Parkings de surface, avec une emprise propre, à l'exclusion des parcs souterrains. Ce poste comprend les parkings associés aux équipements et à l'habitat.
76	Parkings en étages	Parkings en étages, avec une emprise propre, à l'exclusion des parcs souterrains. Ce poste comprend les parkings associés aux équipements et à l'habitat.
77	Gares routières, dépôts de bus	Gares routières, d'autobus, d'autocars pour voyageurs. Les installations de transport de marchandises sont repérées dans les activités de stockage. Ce poste inclut les dépôts d'autobus RATP
78	Installations aéroportuaires	Aérogares, zones de stationnement des appareils, installations techniques (hangars, etc.) et pistes seulement sont intégrés dans ce poste. Les parkings, surfaces en herbe attenantes (dans le poste 27), installations industrielles et entrepôts sont repérés comme tels
79	Carrières, sablières	Carrières, sablières en activité ou abandonnées, sans traces de végétation. Lorsque la colonisation végétale est visible, les surfaces sont assimilées au poste de leur couvert.

Code	Libellé	Définition
80	Décharges	Décharges autorisées ou non (les casses de véhicules sont classées dans le poste 46 « Entreposage à l'air libre »), déchèteries et zones d'enfouissement des déchets.
81	Chantiers	Chantiers de construction et de démolition.

B. Comparaison des indices Biomos calculés dans ce travail avec les indices publiés par la DREIA Île-de-France en 2010

Les résultats obtenus sont en partie différents de ceux publiés par la DREIA d'Île-de-France en 2010 pour plusieurs raisons. D'une part la méthode et les critères utilisés pour l'identification des espaces verts ne sont pas les mêmes. De ce fait des surfaces prises en compte dans l'indice auparavant ne le sont plus forcément, à l'inverse un certain nombre d'espaces ont été intégrés au calcul de cet indice. D'autre part la nomenclature du MOS a évolué passant de 83 à 81 postes. La typologie utilisée a donc été adaptée pour correspondre à la nouvelle typologie de l'IAU en 81 postes. Les pondérations associées à certains postes ont également été modifiées à partir des résultats de l'enquête de terrain.

Nous avons calculé pour chacune des trois communes étudiées, le nouveau bilan BioMos et examiné les différences avec celui publié par la DREIA d'Île-de-France en 2010.

Globalement on obtient le comparatif des coefficients de biotope dans le tableau B-1.

Tab. B.1 : Comparaison des coefficients de biotope dans les trois communes

Commune	Coefficient de biotope (ce travail)	Coefficient de biotope (DREIA IdF 2010)
Bagneux	0,081	0,103
Bourg-la-Reine	0,087	0,047
Boulogne-Billancourt	0,128	0,126
Boulogne-Billancourt (espaces verts exclusivement)	0,077	0,061

Table des figures

1.1	Chemin en forêt . .	5
1.2	Vue aérienne de la forêt de Meudon à la sortie du tunnel du tramway T6 à Vélizy .	6
1.3	.Communes carencées dans les Hauts-de-Seine ; Source : Plan Vert de l'Île de-France, IAU 2017 .	7
1.4	Vue aérienne d'une partie du centre de Boulogne-Billancourt ; source IGN 2014	8
1.5	Avenue du Château à Meudon ; photographie Irène Nenner	9
1.6	Localisation des Hauts-de-Seine et des sites de l'étude	10
2.1	Image brute SPOT 7 en mode multispectral du 5 mai 2016 ; Partie Ouest de la région parisienne	14
2.2	Limites administratives issues de la base Openstreetmap	15
2.3	Image SPOT dont la résolution est améliorée à 1,5 m par l'application de l'algorithme « nearest neighbor » . . .	16
2.4	Application du NDVI sur l'image des Hauts-de-Seine	17
2.5	Première bande de l'ACP des indices de textures sur l'image des Hauts de-Seine	18
2.6	Strates végétales des Hauts-de-Seine en 2016	19
2.7	.Strates végétales à Bagneux en 2014	21
3.1	Carte de la végétation dans les Hauts-de-Seine en 2016	22
3.2	Carte de répartition de la végétation à Bagneux en 2014	24
3.3	Carte de la répartition de la végétation à Boulogne-Billancourt en 2014	25
3.4	Carte de répartition de la végétation à Bourg-la-Reine en 2014	26
3.5	Carte de répartition de la végétation à Fontenay-aux-Roses en 2014	27
3.6	Carte de répartition de la végétation à Malakoff en 2014	27
3.7	Carte de répartition de la végétation à Chaville en 2014	28
4.1	À gauche, placette en forme de quadrat dans le square Pierre-André Meunier à Bourg-la-Reine ; À droite, placette en forme de cercle dans le parc François Mitterrand à Bagneux. .	34
5.1	Carte des espaces verts de Bagneux selon la typologie du MOS en 81 postes modifiée avec spécification du paysage, élaborée par numérisation à partir de l'image aérienne ; sources IGN, IAU, OpenStreetMap	36
5.2	Couverture végétale de Bagneux obtenue par télédétection. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IGN, IAU, Openstreetmap	38
5.3	Carte des espaces verts de Bagneux du MOS en 81 postes 2012. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IAU, Openstreetmap	39
5.4	Carte des espaces verts de Bourg-la-Reine selon la typologie du MOS en 81 postes modifiée avec spécification du paysage, élaborée par numérisation à partir de l'image aérienne ; sources IGN, IAU, OpenStreetMap	41
5.5	Couverture végétale de Bourg-la-Reine obtenue par télédétection. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IGN, IAU, Openstreetmap .	43
5.6	Carte des espaces verts de Bourg-la-Reine du MOS en 81 postes 2012. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IAU, Openstreetmap	44
5.7	Carte des espaces verts de Boulogne-Billancourt selon la typologie du MOS en 81 postes modifiée avec spécification du paysage. Sources : IGN, IAU, OpenstreetMap .	47
5.8	Couverture végétale de Boulogne-Billancourt obtenue par télédétection. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IGN, IAU, Openstreetmap .	48
5.9	Carte des espaces verts de Boulogne-Billancourt du MOS en 81 postes 2012. Les cartes des bâtiments, voies ferrées, routes sont superposées ; sources IAU, Openstreetmap	49
5.10	Détail de la carte de couverture végétale de Boulogne-Billancourt quartier sud de la place Marcel Sembat	51
5.11	Détail de la carte de couverture végétale de Bourg-la-Reine à l'Ouest du stade Charpentier	52

5.12	Détail de la carte de la couverture végétale du quartier du cimetière parisien de Bagneux	52
6.1	Exemples d'espèces sauvages et horticoles trouvées dans les trois communes étudiées .	54
6.2	Variation de la fréquence de présence des espèces les plus représentées lors des relevés de terrain. Réalisation : Héloïse Louiset	55

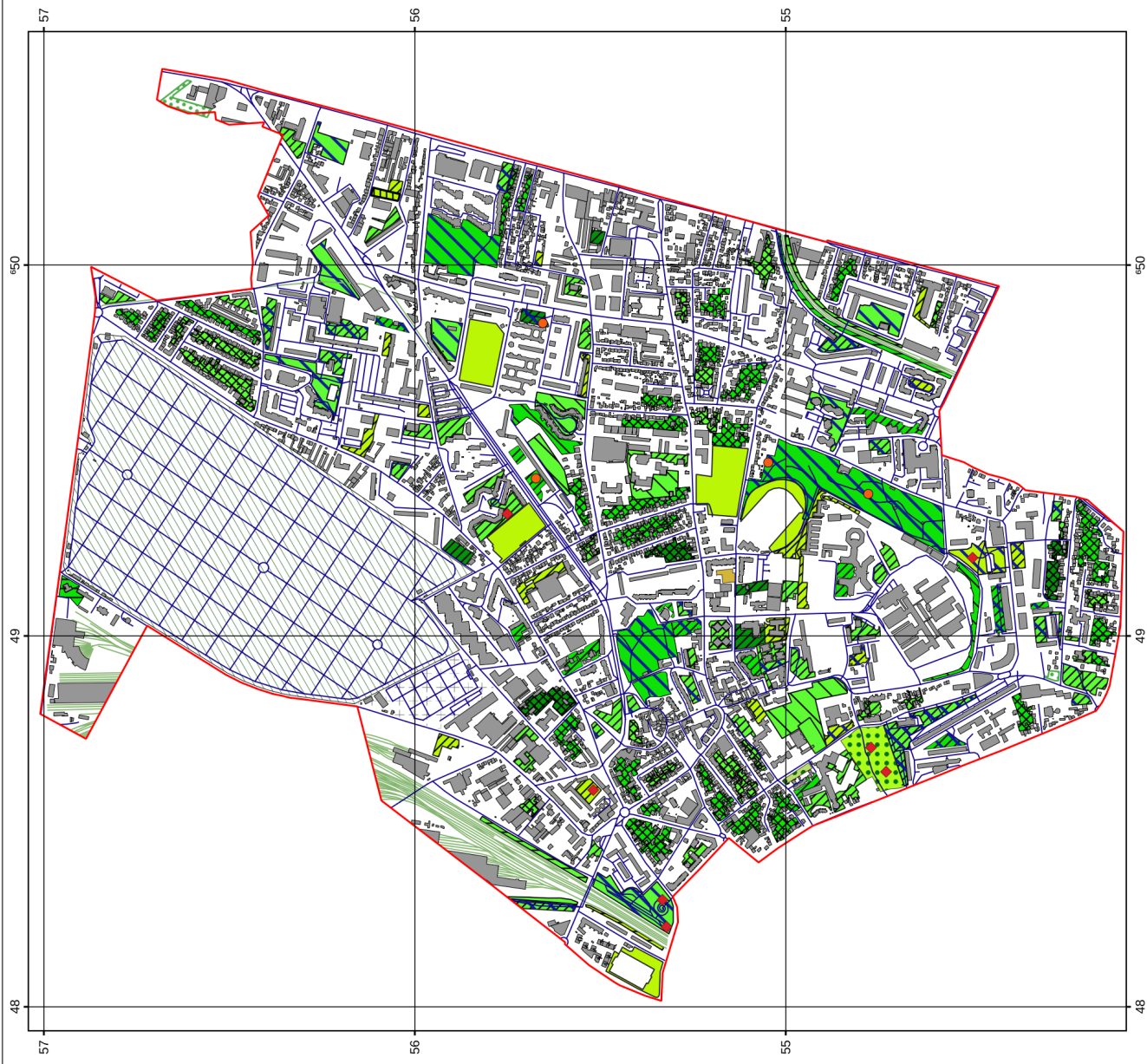
Liste des tableaux

3.1	Données statistiques sur l'occupation du sol des Hauts-de-Seine	23
3.2	Données statistiques (Pixels et pourcentages) des communes sélectionnées	29
3.3	Comparaison statistiques avec les données de l'APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme, 2008) des communes sélectionnées	30
4.1	Catégories des espaces verts et indice BioMOS correspondant	31
5.1	Espaces verts de Bagneux selon la typologie du MOS 81 postes - Comparaison entre le présent travail et le MOS 81 2012 (données IAU). Les parcs et jardins sont indiqués par un fond vert clair	40
5.2	Espaces verts de Bourg-la-Reine selon la typologie du MOS 81 postes - Comparaison entre le présent travail et le MOS 81 2012 (données IAU). Les parcs et jardins sont indiqués par un fond vert clair	46
5.3	Espaces verts de Boulogne-Billancourt selon la typologie du MOS 81 postes - Comparaison entre le présent travail et le MOS 81 2012 (données IAU). Les parcs et jardins sont indiqués par un fond vert clair .	50
7.1	Valeurs de l'indice BioMOS pour différentes strates paysagères/types d'espaces verts . .	58
7.2	Indice BioMOS de la commune de Bagneux	59
7.3	Indice BioMOS de la commune de Bourg-la-Reine	60
7.4	Indice BioMOS de la commune de Boulogne-Billancourt	61
7.5	Surfaces pondérées des espaces verts et surface des espaces verts publics et ouverts au public par habitant dans les communes étudiées	62
A.1	Nomenclature à 81 postes du Mode d'occupation du sol (Mos)	64
B.1	Comparaison des coefficients de biotope dans les trois communes	69

Références

- Besse, Marie-Thérèse et Christiane Blancot (mai 2016). *Nouvelles données. 10 ans d'évolution de la végétation à Paris et dans la Métropole du Grand Paris*. [Online ; accessed 27. May 2019]. url : <https://docplayer.fr/60611869-Nouvelles-donnees-10-ans-d-evolution-de-la-vegetation-a-paris-et-dans-la-metropole-du-grand-paris-note-n-104.html>.
- Besse, Marie-Thérèse et Paul Rouet (2009). *La couverture végétale du cœur de l'agglomération de Paris. Une approche par la télédétection de précision*. fr. APUR. url : <http://www.lecfc.fr/new/articles/199-article-11.pdf>.
- Cantat, Olivier (2004). "L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps". In : *Nor- rois. Environnement, aménagement, société* 191, p. 75-102. issn : 0029-182X. url : https://journals.openedition.org/nor- rois/1373#xd_co_f=OWQxODNiYTMtYmZiYy00ZTUyLWJjNTctNDdkZGFhMDlhY
- Clergeau, Philippe et Nathalie Machon (2014). *Où se cache la biodiversité en ville ? - 90 clés pour comprendre la nature en ville*. Librairie Quae. isbn : 978-275922214-8.
- Crombette, Pauline, Sébastien Le Corre et Claire Tinel (2014). "Traitement d'images satellitaires à Très Haute Résolution Spatiale et identification de zones à enjeux dans l'aménagement des Trames Vertes urbaines". In : *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 208, p. 19-25. issn : 1768-9791. url : <https://www.sfpt.fr/rfpt/index.php/RFPT/article/view/130>.
- Djedjig, Rabah (2013). "Impacts of green envelopes at the interface between buildings and urban microclimate". Thèses. Université de La Rochelle. url : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01141046>.
- Escourrou, Gisèle (1990). "La spécificité du climat de l'agglomération parisienne / The unique character of the Paris urban area's climate". fr. In : *Géocarrefour* 65.2, p. 85-89. issn : 0035-113X. doi : 10.3406/geoca.1990.5717. url : https://www.persee.fr/doc/geoca_0035-113x_1990_num_65_2_5717.
- Foissard, Xavier (oct. 2015). *L'Îlot de chaleur urbain et le changement climatique. Application à l'agglomération rennaise*. Rennes 2. url : <http://www.theses.fr/2015REN20027#>.
- GIEC (mai 2019). *Rapport du GIEC. Réchauffement climatique de 1,5°C*. Wikisource. [Online ; accessed 29. May 2019]. url : https://fr.wikisource.org/wiki/Rapport_du_GIEC_%3A_R%C3%A9chauffement_climatique_de_1%2C5%2%B0C.
- IAU (mai 2015). *Le Schéma directeur de la région Île-de-France*. [Online ; accessed 30. May 2019]. url : <https://www.iau-idf.fr/planification/ile-de-france-2030/le-schema-directeur-de-la-region-ile-de-france-sdrif.html>.
- Iovan, C., D. Boldo et M. Cord (2009). *Modélisation de la végétation en milieu urbain : détection et caractérisation à partir d'images aériennes haute résolution couleur et infrarouge*. url : http://corinaiovan.com/publications/09_SFPT.pdf.
- Laïlle, Pauline, Damien Provendier et François Colson (2014). *Les bienfaits du végétal en ville. Étude des travaux scientifiques et méthode d'analyse*. fr. Plante & cité. url : https://www.valhor.fr/fileadmin/A-Valhor/Valhor_PDF/CiteVerte_BienfaitsVegetalVille2014.pdf.
- Legenne, Corinne, Laetitia Pigato et Cécile Mauclair (2009). *La desserte en espaces verts, un outil de suivi de la trame verte d'agglomération*. FR. IAU-ÎdF. url : https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_594/La_desserte_en_espaces_verts_avec_signets_01.pdf.
- Liénard, Sandrine et Philippe Clergeau (mar. 2011). "Trame Verte et Bleue : Utilisation des cartes d'occupation du sol pour une première approche qualitative de la biodiversité". In : *Cybergeo : European Journal of Geography*. issn : 1278-3366. url : <https://journals.openedition.org/cybergeo/23494>.
- Liu, Ting et Xiaojun Yang (2013). "Mapping vegetation in an urban area with stratified classification and multiple endmember spectral mixture analysis". In : *Remote Sensing of Environment* 133, p. 251-264. issn : 0034-4257. doi : 10.1016/j.rse.2013.02.020.

- Lotfi, Mehdi et al. (2017). “Les services écosystémiques urbains, vers une multifonctionnalité des espaces verts publics : revue de littérature”. In : *Environnement Urbain / Urban Environment* Volume 11. issn : 1916-4645. url : <https://journals.openedition.org/eue/1575>.
- McKinney, Michael L. (2006). “Urbanization as a major cause of biotic homogenization”. In : *Biological conservation* 127, p. 247-260. issn : 0006-3207. doi : 10.1016/j.biocon.2005.09.005.
- Munck, Cécile de (nov. 2013). “Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d’adaptation pour l’amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville”. Thèse de doct. École Doctorale Sciences de l’univers, de l’environnement et de l’espace (Toulouse);159341302. url : <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002485>.
- Rhein, Catherine et Milena Palibrk (2014). “Formes urbaines, modes d’occupation du sol et composition sociale en zone urbaine dense : des relations inattendues à Paris”. In : *Cybergeo : revue européenne de géographie* 685. issn : 1278-3366. doi : 10.4000/cybergeo.26423.
- Riboulot-Chetrit, Mathilde (mai 2015). “Les jardins privés : de nouveaux espaces clés pour la gestion de la biodiversité dans les agglomérations ?” In : *Articulo - Journal of Urban Research Special* 6. issn : 1661-4941. url : <https://journals.openedition.org/articulo/2696>.
- RIdF (2013). *Le SRCE d’Île-de-France adopté - DRIEE Île-de-France*. [Online ; accessed 28. May 2019]. Région Île-de-France. url : http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/le-srce-d-ile-de-france-adopte-a1685.html#sommaire_3.
- (2017). *Plan Vert de l’Île-de-France : La nature pour tous et partout*. [Online ; accessed 28. May 2019]. Région Île-de-France. url : <https://www.iledefrance.fr/plan-vert-de-l-ile-de-france-la-nature-pour-tous-et-partout>.
- Rouet, Paul (2008). *Détecter et cartographier la couverture végétale de Paris*. APUR. url : <http://www.lecfc.fr/new/articles/196-article-3.pdf>.
- Sellin, Vanessa et al. (juin 2015). *Étude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection*. [Online ; accessed 30. May 2019]. url : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01165523>.
- Stephenson, N. L. et al. (2014). “Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size”. In : *Nature* 507, p. 90-93. issn : 0028-0836. doi : 10.1038/nature12914.
- Thunig, H. et al. (2010). *Automated LULC classification of VHR optical satellite data in the context of urban planning*. en. University of Education Heidelberg, Ruhr-University Bochum. url : https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-C7/pdf/Thunig_38.pdf.
- Tooke, Thoreau Rory et al. (2009). “Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis and decision tree classifications”. In : *Remote Sensing of Environment* 113, p. 398-407. issn : 0034-4257. doi : 10.1016/j.rse.2008.10.005.
- Valette, Emmanuelle, Erwan Cordeau et Christophe Magdelaine (2010). *Les îlots de chaleur urbains – L’adaptation de la ville aux chaleurs urbaines*. FR. IAU Île-de-France. url : https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_768/les_ilots_de_chaleur_urbains_Adaptation_de_la_ville_aux_chaleurs_urbaines.pdf.
- Ward Thompson, Catharine et al. (2016). *Urban green spaces and health : A review of evidence*. en. WHO Regional Office for Europe, url : http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf?ua=1.
- Yan, Jingli et al. (2018). “Mapping vegetation functional types in urban areas with WorldView-2 imagery : Integrating object-based classification with phenology”. In : *Urban Forestry & Urban Greening* 31. issn : 1618-8667. doi : <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.021> . url : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866717300729>



Légende

- ◆ Point de relevé en quadrat
- point de relevé en rond
- limites communales
- bâtiments
- routes
- voies ferrées
- ▨ espaces verts publics
- ▧ parcs et jardins de plus de 5000 m²
- ▩ parcs et jardins de moins de 5000 m²
- ▨ jardins habitat individuel
- ▧ Jardins familiaux
- ▩ vignes
- ▨ espace ouvert
- ▩ horticulture
- ▨ Terrains de sport en plein air
- ▩ cimetière parisien
- ▨ cimetière communal
- ▩ terrains vacants
- ▨ espaces végétalisés des emprises de transports ferrés
- ▩ pelouse
- ▨ pelouse dominante arborée
- ▩ arboré dominant et pelouse
- ▨ arboré dense



Les parcs et jardins sont répartis en deux catégories:
 - parcs et jardins de plus de 5000 m² publics et privés
 - parcs et jardins de 1000 à 5000 m² publics et privés dont les jardins de l'habitat continu bas
 Les espaces engazonnés incluent les parties végétalisées des emprises de transports ferrés

ESPACES VÉGÉTALISÉS DE BOURG-LA-REINE



650985 E
6854735 N

Scale 1:10 000

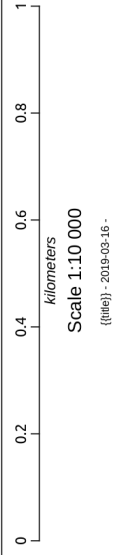


Légende

- Point de relevé en rond
- ◆ Point de relevé en quadrat
- Limites communales
- Réseau routier
- Réseau ferré Bourg-la-Reine
- bâtiments
- ▨ parcs et jardins publics
- ▧ parcs et jardins de plus de 5000 m²
- ▩ Parcs et jardins entre 1000 et 5000 m²
- Jardins habitat individuel
- Jardins partagés
- terrain de sports en plein air
- ⊕ Cimetière
- ▭ Terrains vacants
- ▭ Espaces végétalisés des emprises de transports ferrés
- pelouse
- pelouse dominante arborée
- arboré dominant et pelouse
- arboré dense

648691 E
6852367 N

Map CRS: EPSG:2154
Coordinate Units: Mètres
Map Scale: 1:10 000
Project File: carte_Bourg-la-reine.qgs
Page Size: 420 x 297 mm
Made with: QGIS 3.6 on Linux



Les parcs et jardins sont répartis en deux catégories :
- parcs et jardins de plus de 5000 m² publics et privés
- parcs et jardins de 1000 à 5000 m² publics et privés dont les jardins de l'habitat continu bas
Les espaces engazonnés incluent les parties végétalisées des emprises des transports ferrés.

ESPACES VÉGÉTALISÉS DE BOULOGNE - BILLANCOURT



Scale 1:15 000



Légende


- pt relevés cercles
- ◆ pt relevés quadrats
- limites communales BB
- bâtiments
- routes
- cours d'eau
- eaux fermées
- berges
- ▨ Parcs et jardins publics de plus de 1000 m²
- ▧ Parcs et jardins de plus de 5000 m²
- ▩ Parcs et jardins entre 1000 et 5000 m²
- ▩ jardins habitat individuel
- jardins partagés
- terrains de sports en plein air
- cimetières
- terrains vacants
- Espaces végétalisés des infrastructures routières
- pelouse
- pelouse dominante arborée
- arboré dominant et pelouse
- arboré dense

642603 E
6859387 N

Map CRS: EPSG:2154
Coordinate Units: Mètres
Map Scale: 1:15 000
Project File: Carte_Boulogne-Billancourt.qgs
Page Size: 420 x 297 mm
Made with: QGIS 3.6 on Linux

0 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5
kilometers
Scale 1:15 000
{(tme)} - 2019-03-16 -

Les parcs et jardins sont répartis en deux catégories :
- parcs et jardins de plus de 5000 m² publics et privés
- parcs et jardins de 1000 à 5000 m² publics et privés dont les jardins de l'habitat continu bas



Environnement 92
16, rue de l'Ouest
91200 Boulogne Billancourt

Adresse de messagerie : environnement92@gmail.com
Site internet : <https://environnement92.fr/>