



Centre d'Angers - Institut National
d'Horticulture et de Paysage
2, rue André Le Nôtre
49045 ANGERS Cedex 01
Tél : 02 41 22 54 54



3, rue Fleming
49066 Angers



Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du titre d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage

Spécialité Horticulture
Option Foresterie Urbaine

Typologie et fonctions écosystémiques de la végétation urbaine

Contributions méthodologiques

Virginie Anquetil

Soutenu à Angers, le 8 septembre 2010

Composition du jury :

Caroline Gutleben, maître de stage, chargée de mission à Plante&Cité

Vincent Bouvier, maître de stage, enseignant chercheur à Agrocampus Ouest, centre d'Angers

Marie-Reine Fleisch, tutrice, responsable de l'option Foresterie urbaine à l'AgroParisTech, centre de Nancy

Hervé Daniel, maître de conférence à l'Agrocampus Ouest, centre d'Angers

Jacques Soignon, service des espaces verts et de l'environnement de la ville de Nantes

	Centre d'Angers Institut National d'Horticulture et du paysage Spécialité : Horticulture Option : Foresterie urbaine Enseignant responsable de l'option et tuteur : Marie-Reine Fleisch
Auteur : Virginie Anquetil	Organisme d'accueil : Plante&Cité 3, rue Fleming 49066 Angers
Nb pages : 45 pages (corps du texte)	
Année de soutenance : 2010	Maîtres de stage : Caroline Gutleben, chargée de mission à Plante&Cité Vincent Bouvier, enseignant chercheur à l'Agrocampus Ouest, centre d'Angers
Titre : Typologie et fonctions écosystémiques de la végétation urbaine : contributions méthodologiques	
Résumé : De nos jours, l'urbanisation croissante, le changement climatique et le phénomène d'îlots de chaleur urbains contribuent à dégrader la qualité de vie des citoyens. VegDUD*, un des programmes de l'appel à projets « Villes durables » de l'Agence nationale de recherche, a pour objectif d'évaluer les services écosystémiques de la végétation pouvant substantiellement atténuer les effets indésirables de l'urbanisation. Les fonctions écosystémiques visées sont la réduction de l'îlot de chaleur urbain, de la consommation énergétique des bâtiments et de l'empreinte carbone des villes, l'amélioration de la qualité de l'air, de la gestion et de la qualité des eaux pluviales, ainsi que les fonctions d'habitats et de corridors biologiques. Réalisé dans le cadre de ce programme, ce mémoire vise à proposer une méthodologie de caractérisation de la végétation urbaine et de ses impacts écosystémiques, en vue de mettre en évidence des configurations végétales remarquables et potentiellement intéressantes à évaluer par la suite. Une typologie fonctionnelle de la végétation a donc été construite pour décrire et apprécier qualitativement les impacts écosystémiques de la végétation. Cette méthodologie a été testée sur deux sites présentant une diversité potentiellement importante de types de végétation : le parc Balzac, à Angers, et EVA-Lanxmeer, un éco-quartier situé à Culemborg, aux Pays-Bas. La caractérisation de la végétation des deux sites tests a montré qu'il était possible, grâce à cette méthodologie, de faire émerger une certaine diversité de types fonctionnels de végétation et de les hiérarchiser par rapport à leurs fonctions écosystémiques. Les contributions relatives des caractéristiques de la végétation à ces impacts ont pu être déterminées. Enfin, des configurations végétales remarquables ont pu être mises en évidence pour chaque site. *Rôles du VEGétal dans le Développement Urbain Durable	
Abstract : Increasing urbanization, climate change and the heat island effect tend to lower quality of life in cities. VegDUD*, one of the research program initiated as part of the "Villes Durables" project of the national research agency, aims at assessing the ability of vegetation to alleviate urbanization consequences. Some of the ecosystem services of urban vegetation on which it focuses are the heat island mitigation, energetic consumption of buildings and carbon footprint decrease, runoff management and rainwater quality improvement, air quality improvement as well as biodiversity and biological fluxes enhancement. This study was conducted as part of VegDUD program and focused on a methodology to characterize urban vegetation and its ecosystem services. This methodology ought to make appear notable types of vegetation to be further assessed in VegDUD. A functional typology was built to describe urban vegetation and qualitatively estimate its potential ecosystem services. It has been tested on fields, in green areas likely to show a high diversity of vegetation types: Balzac, an urban park located in Angers (France) and EVA-Lanxmeer, an ecological neighbourhood of Culemborg (Netherlands). The description of vegetation in both green areas showed a quite high diversity of functional vegetation types and enabled to rank these types according to their potential ecosystem services. It was possible to determine the contribution of some vegetation characteristics to these services. Finally, the analysis of these tests pointed out that some types of vegetation were notable for all the ecosystem services considered. *Roles of vegetation in sustainable urban development	
Mots-clés : végétation urbaine, typologie, services écosystémiques, développement urbain durable, ANR VegDUD Key words : urban vegetation, typology, ecosystem services, sustainable urban development, ANR VegDUD	

Remerciements

Je remercie tout d'abord mes maîtres de stage Caroline Gutleben et Vincent Bouvier ainsi que ma tutrice Marie-Reine Fleisch pour l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée tout au long de mon stage et leurs encouragements ; Hervé Daniel, pour m'avoir longuement éclairée sur la méthodologie, l'analyse des résultats de mon travail et la discussion ; Marjorie Musy pour le suivi de mon stage et les relectures.

Je remercie également l'ensemble des experts scientifiques que j'ai rencontré au cours de mon stage pour le temps qu'ils m'ont consacré et les conseils qu'ils m'ont donnés pour progresser dans mes recherches et nourrir mes réflexions : Françoise Barret, Isabelle Feix, Cyril Fleurant, Monique Heijmans et Christiane Weber.

Pour leur bonne humeur, leurs conseils bienveillants, je remercie toutes les personnes travaillant à Plante&Cité.

Enfin, ce travail a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche portant la référence ANR-09-VILL-0007-003.

Tables des matières

I. Introduction.....	7
A. Contexte de l'étude.....	7
B. Contours de l'étude.....	7
C. Questions de recherche et hypothèses de travail	11
II. Contexte scientifique et état de l'art	13
A. Fonctions écosystémiques de la végétation urbaine	13
1. Atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain	13
2. Diminution de l'empreinte carbone.....	15
3. Amélioration de la qualité de l'air	19
4. Gestion du ruissellement et amélioration de la qualité des eaux pluviales.....	21
5. Réduction de la consommation énergétique des bâtiments	25
6. Fonctions écologiques de la végétation : habitats et corridors biologiques.....	27
B. Les typologies de la végétation urbaines existantes.....	31
1. Typologie foncière et juridique	31
2. Typologies de gestion.....	31
3. Typologies paysagères, de fonctions et d'usages	33
III. Méthodologie de travail	35
A. Construction d'une typologie fonctionnelle de la végétation urbaine	35
1. Mise en évidence des caractéristiques fonctionnelles de la végétation urbaine	35
2. Traduction de certaines caractéristiques fonctionnelles en critères de description concrets de la végétation	39
3. Hiérarchisation des types de végétation et mise en évidence de configurations remarquables.....	39
4. Evaluation des configurations végétales.....	43
B. Test de la typologie fonctionnelle de la végétation urbaine	43
1. Choix des sites.....	43
2. Démarche de test	43
IV. Résultats.....	47
A. Proposition d'une typologie de la végétation urbaine et d'une méthode d'évaluation des types de végétation.....	47
1. Définition des critères de description de la végétation urbaine et de leurs modalités	47
2. Hiérarchisation des types de végétation par rapport à leurs potentiels impacts écosystémiques	57
B. Test de la typologie fonctionnelle de la végétation urbaine	67
1. Présentation des sites choisis.....	67
2. Définition préalable des objets d'observation	67
3. Résultats des relevés-test.....	69
V. Discussion.....	91
A. Limites et perspectives de la méthode d'évaluation de la typologie	91
1. Evaluation empirique de la typologie par des relevés de terrain	91
2. Evaluation théorique la typologie par des experts scientifiques.....	91
B. Limites et perspectives de la typologie	91
1. Etendue des combinaisons possibles	91

2. Végétation et caractéristiques du sol	93
3. Contexte urbain et caractéristiques paysagères	93
4. Temporalité et évolution de la végétation	95
5. Compensations entre fonctions écosystémiques.....	95
<u>VI. Conclusion</u>	<u>95</u>
<u>VII. Bibliographie</u>	<u>98</u>
<u>Listes des tableaux.....</u>	<u>102</u>
<u>Liste des figures</u>	<u>102</u>
<u>Liste des Annexes.....</u>	<u>103</u>

I. Introduction

A. Contexte de l'étude

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé dans le cadre du programme de recherche VegDUD, un des programmes de l'appel à projets « Villes Durables » de l'Agence nationale de la recherche et traitant du rôle que le végétal peut jouer dans le développement urbain durable. L'expression de développement urbain durable répond ici à deux enjeux majeurs : l'étalement urbain et ses conséquences associées, la perspective d'un changement climatique à l'échelle planétaire et les phénomènes d'îlots de chaleur urbains constatés à l'échelle des villes.

L'étalement urbain pose en effet un certain nombre de problèmes environnementaux. Il induit une augmentation de la consommation énergétique due aux transports et donc des émissions de gaz à effet de serre. L'artificialisation des sols au-delà des limites de la ville a des impacts négatifs sur la biodiversité animale et végétale et implique la perte de terres agricoles, induisant un problème de disponibilité de terres aux qualités agronomiques potentiellement intéressantes pour l'agriculture (Ministère de l'environnement, de l'énergie, du développement durable et de la mer).

En ville, un gradient de température peut être constaté entre le centre ville urbain et sa périphérie rurale. Ces îlots de chaleur urbain, accentués par l'urbanisation croissante, peuvent conduire à des différences de températures allant jusqu'à 2,5 °C (Akbari et al., 2001). Ceci induit une augmentation de la consommation énergétique par la climatisation, de la demande en eau, de la concentration de brouillard, et de problèmes sanitaires voire de décès parmi la population urbaine (McPherson, 1992 ; Guay & Baudouin, 2003).

D'après le rapport du panel intergouvernemental pour le changement climatique (International panel for climate change, 2007), d'ici 2100, le climat devrait se réchauffer de 2,3 à 5,3°C dans le Nord de l'Europe et de 2,2 à 5,2 °C dans le sud de l'Europe et la région méditerranéenne.

Une telle augmentation des températures, combinée avec l'augmentation de l'urbanisation et les phénomènes d'îlots de chaleur urbains, pourrait dégrader de manière significative la qualité de la vie en milieu urbain. Dans cette perspective, le programme de recherche VegDUD a pour objectif d'évaluer comment la végétation peut substantiellement améliorer la qualité de vie des citoyens, en atténuant les effets indésirables de l'urbanisation croissante et de la densification urbaine. En terme d'applications, cette recherche a pour ambition d'orienter la planification urbaine, notamment en préconisant des configurations végétales ayant des impacts positifs sur le climat urbain, l'hydrologie, la consommation énergétique des bâtiments et l'empreinte carbone des villes. La diversité des impacts possibles de la végétation sur l'environnement urbain est à l'origine du caractère interdisciplinaire de VegDUD. Une dizaine de partenaires scientifiques et techniques y sont associés, et une partie du travail nécessitera l'échange d'informations et de compétences, notamment pour le choix des scénarios de végétalisation dont les impacts seront quantifiés par des modèles. Chaque scénario de végétalisation sera par la suite évalué par rapport aux bénéfices qu'il apporte au milieu urbain, à sa faisabilité économique et à son acceptation par les citoyens.

B. Contours de l'étude

Le programme de recherche VegDUD dans lequel s'intègre ce mémoire a donc pour vocation d'explorer les fonctions écosystémiques de la végétation en milieu urbain. Les fonctions ou services écosystémiques se définissent par les bénéfices apportés par les écosystèmes à la société humaine (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Les fonctions explorées dans ce mémoire sont :

- l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain,
- l'amélioration de la qualité de l'air,
- la diminution de l'empreinte carbone des villes,
- l'amélioration de la gestion du ruissellement et de la qualité des eaux pluviales,
- la diminution de la consommation énergétique des bâtiments,

- les fonctions d'habitats et de corridors biologiques de la végétation.

Cette dernière fonction constitue une passerelle entre l'ANR VegDUD et l'ANR Trame verte urbaine, autre programme de recherche « Villes Durables » et qui a pour objectif de comprendre et d'évaluer les rôles écologiques de la végétation en ville. La finalité de l'ANR Trame verte urbaine est de construire un outil d'aide à la décision pour intégrer ces fonctions écosystémiques dans les projets de développement urbain.

Les fonctions écosystémiques étudiées dans VegDUD sont donc des fonctions « physiques ». En effet, elles ont pour origine des mécanismes biologiques, chimiques ou écologiques et donc un caractère universel, c'est-à-dire qu'à partir du moment où les conditions propices sont réunies, les mécanismes ont lieu et la végétation peut remplir la fonction concernée. Certains facteurs peuvent plus ou moins altérer ces conditions, pouvant limiter ou non ces mécanismes. D'une part, ces fonctions s'adaptent bien aux modélisations qui seront réalisées dans le cadre de VegDUD. D'autre part, la généralisation de cette typologie à plusieurs scénarios de développement urbain dans VegDUD est possible en considérant ce type de fonctions, compte tenu de leur caractère universel. Les fonctions « sensibles », qui décrivent en particulier les bienfaits sociaux de la présence du végétal en ville, seront abordées dans VegDUD, dans les évaluations finales et dans le cadre d'une étude ciblée sur les proxémies, complémentaire à cette typologie.

Pour appréhender les fonctions écosystémiques citées précédemment, le volet TYPO a pour vocation de construire un outil méthodologique commun et nécessaire à l'ensemble des autres volets de VegDUD. Cet outil méthodologique, sous forme de typologie fonctionnelle de la végétation urbaine, doit permettre de :

- Caractériser la végétation urbaine, en faisant ressortir les critères de description de la végétation les plus pertinents pour évaluer ces fonctions écosystémiques, et d'évaluer le potentiel de certains types de végétation à remplir ces fonctions.
- Mettre en évidence et décrire des configurations végétales remarquables en s'appuyant sur les aménagements et les pratiques de gestion que l'on trouve actuellement dans les collectivités.
- Préconiser des aménagements et pratiques potentiellement intéressants pour orienter les choix des scénarios alternatifs (en 2011) qui seront évalués dans VegDUD.

Ce mémoire a donc pour objectif de proposer une typologie fonctionnelle de la végétation urbaine répondant à ces objectifs. Construire une typologie fonctionnelle est d'autant plus nécessaire qu'il n'existe pas à ce jour de typologie fonctionnelle de la végétation urbaine. En effet, les typologies existantes par ailleurs sont orientées sur les pratiques de gestion et les rôles paysagers de la végétation en ville. Elles ne répondent donc pas aux objectifs propres de VegDUD, mais ont constitué un appui important pour construire la typologie présentée dans ce mémoire (cf. § II).

La végétation concernée par cette typologie est l'ensemble de la végétation dite « collective », c'est-à-dire intégrée à des espaces publics et /ou accessibles et fréquentés par le public.

Le cadre du travail de VegDUD est la ville dense et il est donc nécessaire de considérer uniquement la végétation qui est en contact direct avec le bâti. Les limites spatiales d'étude se situent à la frontière entre tissu bâti des villes et le milieu rural. Dans le cas de l'agriculture urbaine ou périurbaine, la végétation est prise en compte lorsque les parcelles agricoles sont enclavées dans le tissu urbain, mais ne sont pas considérées lorsqu'elles se situent en périphérie de ville, à la limite du tissu urbain.

C. Questions de recherche et hypothèses de travail

Les objectifs de cette étude font émerger les questions de recherche suivantes :

Quelles sont les caractéristiques de la végétation urbaine les plus pertinentes pour distinguer des types de végétation selon leur rôle fonctionnel ?

Dans quelle mesure et par quels moyens est-il possible d'apprécier qualitativement les impacts potentiels de ces types de végétation sur leur environnement ?

Les réponses à ces questions de recherche s'appuient sur les hypothèses suivantes :

- Les caractéristiques de la végétation les plus pertinentes pour distinguer des types de végétation selon leur rôle fonctionnel sont des caractéristiques non spécifiques aux taxons (non liées à la spécificité des familles, genres et espèces botaniques). On suppose donc qu'il est possible de décrire le rôle fonctionnel de la végétation sans connaître leur appartenance à une famille, un genre ou une espèce botanique.
Cette hypothèse répond notamment à la vocation de la typologie, qui est d'être utilisée dans VegDUD par des équipes de recherche non spécialisées dans le végétal.
- Il est possible d'apprécier qualitativement les impacts relatifs et potentiels des types de végétation, sans disposer de mesures expérimentales ou de données quantitatives pour vérifier ces appréciations.

Dans un premier temps, une synthèse bibliographique explore les fonctions écosystémiques de la végétation urbaine considérées dans ce mémoire et les mécanismes et conditions qui les influencent. Un inventaire des typologies de la végétation urbaine existantes est également présenté dans cette partie. Dans une seconde partie, la méthodologie de travail définit les caractéristiques fonctionnelles de la végétation urbaine les plus pertinentes pour construire la typologie, la méthode utilisée pour caractériser les impacts écosystémiques de la végétation et la démarche adoptée pour tester ces outils *in situ*. La typologie de la végétation urbaine, la caractérisation des impacts écosystémiques de la végétation et leur mise en pratique sur deux sites sont présentées dans la partie Résultats (§IV.).

II. Contexte scientifique et état de l'art

A. Fonctions écosystémiques de la végétation urbaine

La végétation rend un certain nombre de services écosystémiques en ville, améliorant la qualité de vie des citoyens. Quelques uns de ces services, ou fonctions, sont présentés ici. En plus de mettre en évidence ces fonctions, cette partie a également pour objectif d'en cerner les principaux mécanismes, les conditions et les limites.

1. Atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain

a) Interception et réflexion des rayonnements lumineux

Les caractéristiques du feuillage influençant le plus l'interception des rayonnements solaires sont la surface foliaire et la densité foliaire. Plus la surface foliaire de la végétation est grande, plus celle-ci peut potentiellement intercepter les rayonnements. La densité d'une canopée a également une influence sur la quantité de rayonnements réfléchis et absorbés : une canopée dense et épaisse intercepte jusqu'à 98% du spectre de la lumière alors qu'une canopée légère en intercepte 60 à 80 % (McPherson, 1992 ; Johnston & Newton, 2004, cités par Vergriete et Labrecque, 2007). L'interception des rayonnements solaires dépend également de l'albédo, c'est-à-dire du pourcentage de rayonnements réfléchis par une surface, qui varie selon le type de plantes : il est de 15 à 18% pour les surfaces couvertes d'arbres, et de 25 à 30% pour les surfaces engazonnées (Guay & Baudoin, 2003 ; Peck et al., 1999). Enfin, le port des arbres joue un rôle important dans l'interception des rayonnements solaires puisqu'il détermine la surface occupée par l'ombre projetée des houppiers. L'ombre projetée d'un arbre à port érigé occupe une surface moins importante que celle d'un arbre à port plus étalé (Bouyer, 2009).

b) Evapotranspiration

L'évapotranspiration, provenant à la fois de la végétation via la photosynthèse et du sol via l'évaporation de l'eau, est une source de chaleur latente et augmente l'humidité de l'air. Ce mécanisme dépend du type de plantes mais également des conditions climatiques et édaphiques : plus le sol est humide, plus l'eau s'évapore du sol et les plantes évapotranspirent (McPherson, 1992 ; Peck et al., 1999 ; Spronken-Smith & Oke, 1999, cités par Vergriete & Labrecque, 2007). Les arbres résistants à la sécheresse, avantageux pour les économies d'eau d'arrosage et adaptés en milieu urbain, diminuent fortement les échanges gazeux avec l'atmosphère pour limiter les pertes en eau. Ce type d'espèces évapotranspire peu et leur effet sur le climat urbain est donc limité (McPherson, 1992)

c) Modification des turbulences

La végétation, par sa rugosité, constitue une barrière aux vents, et influence ainsi la formation de turbulences et la dispersion de la pollution (Nowak et al., 2007a).

d) Configuration de la végétation

L'aménagement d'un espace végétalisé peut avoir une influence variable selon le contexte. Dans la publication de Nowak et al. (2007a), il est indiqué que lorsque la végétation est clairsemée ou que le feuillage des arbres est discontinu, les rayonnements solaires non interceptés par la canopée sont absorbés et réfléchis par les revêtements ou le sol lui-même. Or, la chaleur ainsi rayonnée peut

rester sous les houppiers, provoquant une augmentation des températures sous la canopée. De plus, l'ombre et l'évapotranspiration ne suffisent pas pour compenser ce réchauffement de l'air et la canopée peut même empêcher la circulation d'air plus frais (Nowak et al., 2007a). Dans la publication de McPherson (1992), en revanche, la discontinuité du feuillage de la végétation est préférable notamment dans le cas de rues. Dans un exemple d'aménagement présenté par McPherson, les arbres d'alignement plantés sur les trottoirs devraient avoir des houppiers étroits (non continus) mais donnant suffisamment d'ombre aux façades et aux trottoirs, et ne devraient pas être plus hauts que les bâtiments pour permettre la montée de l'air chaud, et donc la formation de brises et la dispersion de la pollution.

Enfin, la présence de points d'eau dans l'espace végétalisé aurait un impact favorable de réduction des températures (GrandLyon, 2010).

2. Diminution de l'empreinte carbone

Les activités humaines entraînent des émissions importantes de gaz participant à l'effet de serre, tels que le CO₂, le N₂O et le CH₄ (Lal, 2004). En milieu urbain, l'adaptation de la gestion du sol et de la végétation pourrait représenter un des moyens de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le bilan qui peut être fait entre la quantité de carbone stocké dans la biomasse des végétaux et le sol et les émissions de carbone et de gaz à effet de serre est l'empreinte carbone, ou taux de séquestration net (Nowak & Crane, 2002).

a) Séquestration du carbone par les végétaux

Les plantes ont la capacité de stocker le carbone dans leurs tissus par l'intermédiaire de la photosynthèse. Le carbone stocké dans la biomasse est incorporé dans le sol à mesure que la biomasse meurt et une partie du carbone du sol est restituée à l'atmosphère via la respiration, la décomposition et la minéralisation de cette matière organique par les microorganismes (Singh, 2007).

La séquestration du carbone par les plantes dépend directement de la quantité de biomasse qu'elles produisent (Singh, 2007 ; Nowak & Crane, 2002). La quantité de biomasse produite varie selon le type de végétation, les espèces (Singh, 2007) et la gestion de cette végétation (Qian & Follet, 2002). De manière générale, les plantes ligneuses stockent plus de carbone que les plantes herbacées. Parmi les plantes ligneuses, les arbres sont des puits de carbone majoritaires par rapport aux arbustes (Jo & McPherson, 1995).

D'autres facteurs influencent la quantité de biomasse produite par les végétaux. Nowak & Crane (2002) ont estimé la séquestration du carbone par les arbres urbains dans plusieurs villes des Etats-Unis. Les quantités de carbone séquestrées qui ont été calculées augmentaient avec les surfaces d'espaces boisés et la proportion d'arbres de grande dimension et en bonne santé (Nowak & Crane, 2002). Dans une forêt ou un bois urbain, la densité des arbres est moins importante que dans une forêt naturelle. Ainsi, les arbres ayant plus de possibilité de croître en largeur, la séquestration du carbone d'un seul arbre urbain serait quatre fois plus importante qu'un arbre d'une forêt naturelle (Nowak & Crane, 2002).

La séquestration du carbone dépend également du stade de croissance des arbres : la séquestration nette de carbone est positive dans une forêt urbaine jeune (phase de croissance), diminue à mesure que la forêt arrive à maturité, jusqu'à devenir négative lorsque les arbres sont sénescents et/ou que les arbres morts émettent du carbone dans l'atmosphère. La quantité de carbone séquestrée dépendant du taux de croissance, la quantité de carbone captée est plus importante pour les arbres qui ont un fort taux de croissance (Nowak et al., 2002 ; Dubé et al., 2006, cités par Vergriete et Labrecque, 2007).

Cependant, quelques facteurs sont susceptibles de limiter la capacité des végétaux à séquestrer le carbone. Par exemple, le potentiel de séquestration des gazons augmenterait après l'établissement de la végétation et se stabiliserait au bout d'une quarantaine d'années, notamment parce que les apports en matière organique du sol seraient constants (Qian & Follet, 2002).

La quantité de biomasse dépendant également de la capacité des plantes à se développer correctement dans leur milieu. Le climat et la structure du sol notamment ont une importance, car ils influent sur la capacité photosynthétique des plantes et la fixation de la matière organique mais aussi sur la décomposition de la matière organique du sol (Singh, 2007). Le choix de plantes adaptées au milieu dans lequel elles sont plantées permet d'optimiser leur croissance et d'éviter des tâches de gestion supplémentaires (ex : les arbres vigoureux plantés près des façades engendrent des tailles supplémentaires) (Jo & McPherson, 1995).

b) Facteurs d'émission de carbone

■ *Gestion de la végétation : techniques culturales émettrices de gaz à effet de serre*

La fertilisation chimique de la végétation, plus couramment celle de plantes herbacées telles que les gazons, est émettrice de protoxydes d'azote (Gutleben et al., 2010). La fertilisation permet également d'augmenter la capacité photosynthétique des plantes, celle-ci a donc un effet positif jusqu'à un certain seuil. En effet, au-delà d'une certaine quantité d'azote épandu, la capacité photosynthétique des plantes n'augmente plus et les besoins en tonte sont plus importants, engendrant de nouvelles émissions (Gutleben et al., 2010). Les émissions dues à la fertilisation pourraient être réduites par l'apport de compost (Jo & McPherson, 1995), contribuant également à augmenter le carbone organique du sol (Lal, 2004).

Les traitements phytosanitaires, lors de leur fabrication puis lors de leur utilisation, sont émetteurs de CO₂. Par exemple, la production de la matière active d'1 kg de matière active d'herbicide émettrait 7,34 kg d'équivalent CO₂, 25,69 kg pour un insecticide et 6,24 kg pour un fongicide (ADEME, 2007).

Les tâches culturales nécessitant l'utilisation de matériels motorisés sont émettrices de carbone. La tonte, la taille et l'épandage de produits phytosanitaires et d'engrais en sont les principaux exemples (ADEME, 2007 ; Nowak & Crane, 2002). L'influence de ces opérations d'entretien sur l'empreinte carbone des gazons est variable selon la puissance des machines, influençant leur consommation de carburant et les temps passés.

Enfin, la contribution de ces tâches culturales d'entretien est à relativiser par rapport à l'intensité de la gestion. Plus la gestion de la végétation est intensive, notamment en fréquence, plus les émissions seront importantes, que ce soit pour la végétation ligneuse ou herbacée (Nowak et al., 2002 ; Gutleben et al., 2010).

■ *Exportations de carbone et gestion des exportations*

Les exportations de biomasse liées aux opérations de taille et de tonte peuvent avoir un certain impact sur l'empreinte carbone. En effet, si les déchets de taille et de tonte ne sont pas valorisés, ils ne contribuent qu'à des émissions. En revanche, le compostage de ces déchets et l'épandage du mulch au sol permet non seulement d'augmenter le stock de carbone organique du sol, mais aussi, par la fertilisation, d'augmenter la capacité des plantes à séquestrer du carbone. La biodiversité du sol a également un impact positif sur le bilan de carbone, et l'ajout de matière organique dans le sol permet de favoriser le développement de la faune et des micro-organismes du sol (Lal, 2004).

c) Influence des végétaux sur la consommation énergétique des bâtiments

D'autres impacts indirects sur l'empreinte carbone peuvent être pris en comptes : par exemple la modification des variables climatiques locales implique une modification des consommations

énergétiques des bâtiments pour le chauffage ou la climatisation, ce qui aura un impact différent sur le bilan carbone selon l'énergie utilisée (Nowak et al., 2002 ; Jo & McPherson, 1995). Cet aspect est traité plus en détail dans la partie consacrée à la réduction de la consommation énergétique par la végétation.

3. Amélioration de la qualité de l'air

Les phénomènes d'étalement urbain, de densification urbaine et l'utilisation encore majoritaire de moyens de transports dépendant des énergies fossiles, contribuent à dégrader sensiblement la qualité de l'air en milieu urbain, affectant parfois la santé des citoyens. Plusieurs gaz sont concernés : l'ozone, le monoxyde d'azote, le dioxyde d'azote, l'acide nitrique, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, etc. Dans certaines conditions, la végétation peut améliorer la qualité de l'air de manière significative.

a) Interception des particules de pollution

La pollution se trouve également sous forme de particules/poussières, néfastes pour la santé humaine, et qui peuvent être interceptées à la surface des feuilles des plantes par dépôt sec. Par sa rugosité, une formation végétale telle qu'une forêt pourrait influencer la dispersion des polluants et sa déposition sur les feuilles des végétaux (Escobedo & Nowak, 2009).

L'interception des particules polluantes est un processus majoritaire par rapport à l'absorption dans les stomates (Nowak et al., 2007). La surface foliaire (Escobedo & Nowak, 2009), dépendant notamment de la surface de couverture de la végétation (canopée) (Nowak et al., 2006), est le principal facteur déterminant la quantité de particules potentiellement interceptées par la végétation. Plus la surface foliaire est importante, plus les interceptions de particules polluantes augmentent.

La rugosité de la végétation peut parfois être néfaste pour la qualité de l'air, puisqu'elle peut également faire barrière aux vents et limiter la dispersion des polluants dans les couches supérieures de l'atmosphère. Une forte concentration de polluants peut alors être observée sous une canopée dense (Nowak et al., 2006).

L'amélioration de la qualité de l'air par interception de la pollution atmosphérique reste modeste, mais cet effet pourrait être augmenté par l'augmentation de la couverture de la canopée des arbres urbains (Nowak et al., 2006). Dans la brochure du Centre for Ecology & Hydrology (2002), il est montré qu'une augmentation des surfaces plantées d'arbres diminuerait la concentration de particules dans l'atmosphère (25% d'augmentation de surfaces plantées = 10% de réduction des polluants, etc.).

b) Absorption des gaz

Les arbres peuvent absorber les gaz polluants par les stomates et les gaz diffusent alors dans les espaces intercellulaires et pourront être absorbés pour des réactions chimiques à l'intérieur de la feuille (notamment formation d'acides) (Nowak et al., 2006). Ainsi, une forêt de 5000 ha serait capable de capter jusqu'à 200 tonnes d'oxyde de soufre (SO₂) par an. De la même manière, 12 tonnes de fluor pourraient être captées par une forêt de 8000 ha. Ces quantités sont néanmoins très inférieures aux émissions trouvées dans les pays industrialisés. En proportion, les forêts ne pourraient pas absorber plus de 10% de la quantité totale de soufre émis par les industries (INRA, 1979).

c) Production d'oxygène

Lors de la photosynthèse, les plantes produisent une certaine quantité d'oxygène, parfois non négligeable. 150 m² de surface foliaire produirait l'oxygène nécessaire à une personne pendant une année. Un mètre carré d'herbe non coupée (40 cm) a une surface foliaire de 100 m², alors qu'un gazon coupé à 3-5 cm a une surface foliaire de 6 à 10 m² (Peck et al., 1999). Les quantités d'oxygène produites sont largement inférieures à la teneur totale en oxygène de l'atmosphère et l'émission d'oxygène peut être contrebalancée par son absorption lors de la décomposition de la matière organique (INRA, 1979). Par conséquent ce mécanisme n'est pas significatif par rapport à l'interception des particules et aux autres services fournis par la végétation (Nowak et al., 2007b).

d)Emissions de composés organiques volatiles : facteurs de dégradation de la qualité de l'air

La végétation peut parfois avoir un impact négatif sur la qualité de l'air lorsqu'elle émet des composés organiques volatiles (COV), molécules de la famille des isoprènes et des monoterpènes. Les COV peuvent réagir avec les oxydes d'azote (NO_x) pour former de l'ozone, dégradant la qualité de l'air et contribuant également à l'effet de serre. Par conséquent, le bilan qui peut être fait entre l'interception et l'absorption des polluants et l'émission de composés volatiles est négatif.

Le mécanisme à l'origine des émissions de COV et leur rôle pour la végétation semblent encore peu compris. Les émissions de composés volatiles seraient favorisées par des températures élevées et permettraient aux plantes de supporter des pics brefs de chaleur. Ils pourraient également fournir une protection contre l'ozone. L'émission d'isoprène pourrait également compenser l'impossibilité pour certaines plantes, dans certaines conditions (hygrométrie forte, stress hydrique), d'évapotranspirer suffisamment et donc de perdre de la chaleur via l'émission de chaleur latente (Sharkey et al., 2008).

Le potentiel d'émission de ces composés varie selon les espèces (Centre for Ecology & Hydrology, 2002). Les arbres sont les plus gros émetteurs d'isoprène, en particulier les chênes (surtout nord-américains) et les peupliers.

4. Gestion du ruissellement et amélioration de la qualité des eaux pluviales

La végétation joue plusieurs rôles dans la diminution et le retardement du ruissellement des eaux de pluie en milieu urbain : l'interception de l'eau de pluie par le feuillage, l'évapotranspiration et l'amélioration de la porosité du sol et de la percolation des eaux de pluie dans le sol.

a)Interception des eaux de pluie

Le ruissellement des eaux de pluie varie de manière importante selon le type de surface. La végétation contribue à diminuer le ruissellement : seulement 20% d'eau de pluie ruissellerait sur une surface végétalisée. Sur une surface imperméabilisée comme des routes ou des toitures, 90% de l'eau seraient évacués par ruissellement (Chaïb, 1997). Lors de précipitations, l'eau est interceptée par la canopée des arbres et le ruissellement est alors diminué et retardé. En outre, l'eau s'évapore dans l'atmosphère directement à partir des feuilles, soulageant du même coup les systèmes d'évacuation des eaux pluviales et les stations de traitement et réduisant l'érosion. De cette manière, jusqu'à 25% de l'eau de pluie incidente peut être interceptée par le feuillage des arbres (Chaïb, 1997). L'efficacité des arbres dépend de leur taille, de leur structure et du profil de leur écorce. En automne et en hiver, les arbres persistants sont plus efficaces que les arbres caducs pour intercepter les eaux de pluie (Vergriete & Labrecque, 2007). L'eau interceptée qui s'égoutte progressivement

du feuillage vers le sol permet de prévenir les phénomènes de battance qui engendreraient un ruissellement et une érosion plus importants (Chaïb, 1997).

Les toitures végétalisées diminuent et retardent également le ruissellement des eaux de pluie. La pente de la toiture et la profondeur du substrat sont des facteurs importants qui déterminent la vitesse de ruissellement et la rétention de l'eau de pluie. Plus la pente est importante, plus l'eau de pluie ruisselle rapidement. De plus, par rapport à un toit plat, un toit incliné offre des conditions de sécheresse importante pour les plantes (VanWoert et al., 2005). Lorsque le substrat est profond (cas des toits intensifs dont le substrat dépasse 30 cm d'épaisseur), la rétention est plus forte et le ruissellement est plus ralenti que lorsque le substrat est peu profond (cas des toits extensifs avec moins de 15 cm de substrat) (VanWoert et al., 2005). D'autres facteurs comme la nature du substrat, les espèces de plantes et les facteurs climatiques comme l'intensité et la fréquence des précipitations influencent les capacités de rétention et l'impact sur le ruissellement de ces toits (Getter & Rowe, 2006 ; Berndtsson, 2010 ; VanWoert et al., 2005).

b)Evapotranspiration : désengorgement des sols et restitution de l'eau vers l'atmosphère

L'évapotranspiration permet le transfert de l'eau du sol vers l'atmosphère directement par évaporation à partir du sol et indirectement par l'intermédiaire de la plante. Jusqu'à 10% de l'eau de pluie peuvent être restitués du sol vers l'atmosphère par évaporation (Chaïb, 1997). La quantité d'eau évapotranspirée par les plantes, ou capacité d'évapotranspiration, varie selon les types de végétation. Selon Matheussen et al. (2000, cité par Nowak et al., 2007a), les arbres persistants possèderaient en général le plus fort potentiel d'évapotranspiration, suivis par les arbres caducs, les arbustes et les herbacées. Cependant, l'écart constaté en comparant le potentiel d'évapotranspiration de ces types de végétation diminuerait si l'on considère des plantes adaptées aux sols humides voire gorgés d'eau. Ces plantes, même herbacées, auraient une capacité d'évapotranspiration supérieure aux plantes non adaptées aux sols humides. En effet, il apparaît que certaines plantes herbacées (plantes des marais, prairie) ont même une capacité d'évapotranspiration très supérieure à certains arbres (Chaïb, 1997).

c)Percolation des eaux de pluie dans le sol

L'infiltration de l'eau dans le sol, ou percolation, souvent difficile en milieu urbain à cause des surfaces imperméabilisées, est facilitée lorsque les surfaces sont végétalisées. La croissance, la décomposition des racines et la présence de litière améliorent la porosité et apportent de la matière organique, permettant à la faune du sol de se développer. Les eaux de pluie, au lieu de s'écouler et d'être relâchées directement dans les cours d'eau, comme cela est le cas lorsque l'eau ruisselle sur les surfaces imperméabilisées, pénètrent dans le sol puis dans les nappes phréatiques.

d)Amélioration de la qualité des eaux pluviales par la végétation, le sol et ses micro-organismes

Les éventuelles pollutions contenues dans les eaux pluviales (nutriments, métaux, résidus de pesticides, hydrocarbures etc.) sont filtrées voire absorbées par le sol, les micro-organismes du sol et la végétation, diminuant potentiellement le lessivage de ces pollutions dans les nappes phréatiques (Nowak et al., 2007a ; Chaïb, 1997). L'action de fixation de l'azote par les plantes évite également l'eutrophisation des cours d'eau et des points d'eau, favorisée par une teneur élevée en nitrates et en phosphates, et par des températures élevées (Bolund & Hunhammar, 1999). Dans les ripisylves, par exemple, les arbres prélèvent des quantités importantes d'azote profondément dans le sol. Lorsqu'une eau polluée par des métaux ruisselle et percole dans le sol, les métaux se fixent sur

les sédiments du sol et peuvent parfois être absorbés par la végétation et stockés dans sa biomasse (Nowak et al., 2007a).

e) Eau permanente et aménagements végétalisés : ruissellement, stockage et évacuation des eaux pluviales

En milieu urbain, certains aménagements sont utilisés pour gérer le ruissellement des eaux pluviales et potentiellement améliorer leur qualité : les fossés végétalisés, les noues, les mares et les bassins. La végétation, en particulier les macrophytes et les hydrophytes, y joue un rôle de maintien de la perméabilité de ces espaces, de purification éventuelle de l'eau et un rôle esthétique. Ces aménagements, qu'ils soient en eau de manière permanente ou pas, doivent faciliter le ruissellement de l'eau (présence d'un impluvium) et son infiltration/évacuation vers la nappe phréatique ou le milieu récepteur (sol perméable ou drain) (GrandLyon, 2008).

5. Réduction de la consommation énergétique des bâtiments

a) Interception des rayonnements lumineux et évapotranspiration

En été, les arbres plantés à proximité de bâtiments et en accompagnement de façades agissent sur la température à l'intérieur de ces bâtiments : directement par ombrage, réduisant les rayonnements solaires arrivant sur les façades et donc potentiellement absorbés par le bâtiment ; indirectement par évapotranspiration, réduisant la température de l'air à proximité des bâtiments. Les bâtiments soumis à des conditions de températures plus faibles ont moins recours à la climatisation (Nowak et al., 2007a ; McPherson, 1992 ; Akbari et al., 2001). En hiver, les arbres sont une barrière mécanique au vent, le bâtiment perd moins de chaleur, il y a donc moins de besoin en chauffage. En revanche les arbres peuvent également faire barrière aux vents potentiellement rafraîchissants en été et faire de l'ombre aux bâtiments en hiver. Le rôle des arbres dans la consommation des bâtiments est donc dépendant de leur implantation au regard de l'exposition et de leur type (caducs/persistants) (Nowak et al., 2007a).

L'impact de la végétation sur la consommation énergétique des bâtiments dépend fortement de l'emplacement de celle-ci par rapport aux façades des bâtiments. L'emplacement serait optimal lorsque les arbres ombragent les façades pendant les heures les plus chaudes de la journée et pendant les périodes habituelles de pic de consommation d'énergie pour les climatiseurs. Cependant, les emplacements dépendent des habitudes de consommation des habitants et du climat régional (McPherson, 1992). De plus, la réduction des températures par la végétation serait significative dans un rayon de 200 à 500 mètres autour de l'espace végétalisé, selon que l'on considère les températures diurnes ou nocturnes (Hamada & Ohta, 2010).

L'impact de la végétation sur la consommation énergétique des bâtiments est modéré par des conditions climatiques parfois rudes en milieu urbain et par l'adaptation des végétaux à ces conditions (McPherson, 1992 ; Akbari et al., 2001).

b) Isolation thermique des bâtiments : cas des toits végétalisés

Les toits végétalisés (extensifs ou intensifs) permettent de réduire la consommation énergétique des bâtiments. L'apport d'énergie solaire d'un bâtiment dont le toit est végétalisé serait 90% plus faible que celle d'un bâtiment dont le toit est non végétalisé, notamment grâce à l'ombre, l'évapotranspiration des plantes et l'épaisseur du substrat (Getter & Rowe, 2006). Or les propriétés isolantes du sol dépendent de la porosité, donc du volume d'air dans le substrat. Si le sol peut contenir beaucoup d'air pendant la saison chaude, il est en général saturé d'eau pendant l'hiver. Le rôle des toits végétaux sur l'isolation thermique des bâtiments en hiver ne serait donc pas

systématique. De plus, une isolation supplémentaire du bâtiment conduirait aux mêmes économies d'énergie qu'un toit végétalisé et serait plus économique (Getter & Rowe, 2006).

Les conditions de développement de la végétation sur les toits sont en général très rudes (dessiccation, amplitudes importantes de température) (Getter & Rowe, 2006). Les plantes capables de pousser dans ces conditions (tolérantes à la sécheresse) ont une évapotranspiration moindre diminuant ainsi le « rafraîchissement » du bâtiment par transfert thermique.

6. Fonctions écologiques de la végétation : habitats et corridors biologiques

L'urbanisation a plusieurs conséquences sur la biodiversité animale et végétale. Le développement d'infrastructures, du bâti et des surfaces imperméabilisées contribue à transformer et à fragmenter les habitats (Hahs & McDonnell, 2006, cités par Vallet, 2009). Le contexte urbain modifie les conditions environnementales dans lesquelles ces espèces pourraient se développer : îlot de chaleur, pollution atmosphérique, perturbations sonores, une pollution de l'eau, sols parfois pauvres en matière organique etc. (Clergeau, 2007). Plusieurs études ont mis en évidence le rôle d'habitat écologique et de corridors biologiques de la végétation en ville.

a) Habitats écologiques

En milieu urbain, l'implantation de la flore est rendue difficile par certains facteurs, notamment les perturbations et l'artificialisation des sols, et potentiellement une pollution des sols en azote (oxydes d'azote NOx) (Clergeau, 2007). De plus, les flux de graines sont faibles à cause de la fragmentation des habitats. Ce sont plutôt les plantes « sauvages » ou rudérales qui tolèrent les perturbations comme les piétinements et les sols riches en azote (plantes nitrophiles) et ont une capacité de reproduction abondante et rapide. Dans ce sens, les plantes annuelles semblent jouer un rôle important dans la colonisation naturelle d'un milieu par la flore, comme les friches urbaines. Elles permettraient le renouvellement des communautés végétales, engendrant une richesse spécifique proche de ce que l'on trouve dans les espaces colonisés des zones périurbaines ou rurales (Pellissier, 2006, cité par Clergeau, 2007).

Les toits végétalisés extensifs, milieux non perturbés car inaccessibles au public, contrairement aux toits végétaux intensifs, représentent des habitats pour divers insectes, micro-organismes et oiseaux (Getter & Rowe, 2006). Des espèces rares de scarabées et d'araignées ont d'ailleurs été découvertes sur des toits végétalisés (Brenneisen, 2003, cité par Getter & Rowe, 2006). La diversité de scarabées et d'araignées semble dépendante de la diversité des espèces végétales qui composent la végétation du toit et des variations de topographie (Gedge & Kadas, 2004, cité par Oberndorfer, 2007). La diversité végétale (et donc de la faune associée) semble dépendante de la profondeur du substrat : un sol peu profond (2-5 cm) offre des conditions difficiles pour le développement des plantes, seules les plantes capables de supporter ces conditions (comme les *Sedum* et les mousses) sont rencontrés dans ces milieux. Si le sol est plus profond (7-15 cm), la diversité floristique augmente et différents types de plantes peuvent cohabiter (herbes, géophytes, plantes alpines et vivaces tolérant la sécheresse) (Oberndorfer, 2007 ; Peck & Kuhn, 2001).

Il a été montré que la richesse spécifique de l'avifaune diminuait de la campagne vers le centre-ville (Sandström et al., 2006 ; Clergeau, 2007) et donc quand le taux de verdure diminuait. En revanche l'abondance des espèces augmenterait de la périphérie vers le centre (Clergeau, 2007).

La richesse et l'abondance de l'avifaune semblent dépendre de plusieurs facteurs. La spécialisation des espèces détermine leur répartition dans la ville, leur richesse et leur abondance. En effet, la richesse spécifique et le nombre d'individus des espèces spécialistes semblent diminuer de la périphérie vers le centre. Pour les espèces généralistes c'est l'inverse (Sandström et al., 2006). Les espèces généralistes sont capables de tolérer un grand nombre d'habitats et des perturbations. Les

espèces spécialistes, inféodées à un type particulier d'habitat, sont sensibles à toute modification ou fragmentation du paysage.

De plus, les oiseaux semblent être sensibles à la qualité de leur habitat, c'est-à-dire à la disponibilité des ressources, directement liée à la végétation et à sa complexité (Clergeau, 2007). En particulier, la structure de la végétation (composition spécifique et nombre de strates), la présence ou l'absence d'arbres morts et le type d'occupation du sol autour de l'habitat semblent influencer sur la richesse spécifique et le degré de spécialisation des espèces d'oiseaux présentes. La plus grande diversité d'espèces d'oiseaux a été retrouvée dans une structure de végétation complexe (beaucoup de strates et d'espèces différentes) en périphérie de ville.

L'avifaune serait particulièrement sensible à l'entretien de son habitat (Clergeau, 2007). Certaines espèces d'oiseaux semblent être limitées par un entretien important de la végétation. En effet, la richesse spécifique des oiseaux diminue lorsque la quantité de surface entretenue de végétation augmente (Sandström et al., 2006).

Enfin, l'occupation du sol autour des habitats influencerait l'abondance de l'avifaune. Celle-ci semble en effet diminuer lorsque les sols autour du corridor vert sont occupés par des revêtements artificiels, des bâtiments et de la terre nue.

Pour les micromammifères, la richesse spécifique et l'abondance ne dépendent pas uniquement de la qualité de l'habitat et de la végétation. La connectivité des habitats semble être un facteur important car les animaux terrestres ont besoin de se déplacer. Or ces déplacements sont rendus difficiles par la fragmentation du tissu urbain (Clergeau, 2007). La partie suivante détaille le rôle des corridors biologiques sur la faune et la flore.

b)Corridors biologiques

En ville, les corridors matérialisés par de la végétation créent des connexions entre les habitats et donc des flux d'espèces. Ceci engendre plusieurs impacts sur les communautés animales et végétales (Clergeau, 2007) :

- Une augmentation de la diversité spécifique par flux d'espèces de l'extérieur vers l'intérieur de la ville,
- Une diminution de l'isolement des populations,
- Une augmentation de la surface d'habitats possibles pour les espèces, parfois un facteur limitant pour leur développement et leur maintien.

Les toits végétalisés, en particulier les toits extensifs, sont des îlots qui s'ils sont proches les uns des autres peuvent former des corridors écologiques aériens. Ils permettraient la connexion de la faune et de la flore dépendantes de l'air : des oiseaux migrateurs, des insectes, des graines se disséminant grâce au vent etc. (Peck & Kuhn, 2001).

Cependant, dans la littérature, les véritables bénéfices des corridors biologiques n'ont pas toujours été observés et certaines conditions influenceraient le rôle des corridors sur les communautés végétales et animales. La publication d'Angold et al. (2006) montre que l'importante richesse spécifique de la flore observée dans une friche urbaine ne semblait pas avoir de lien avec la proximité d'un corridor vert mais plutôt avec la proximité d'autres espaces délaissés.

L'utilité des corridors pour la dispersion des papillons, des scarabées de zones humides, des invertébrés et des plantes n'a pas été prouvée. Les invertébrés semblaient plus utiliser le corridor en tant qu'habitat et la qualité de chaque habitat serait un facteur important pour leur utilisation. En revanche, il a été observé que les mammifères (petits et moyens) utilisaient les corridors pour leur dispersion (donnée issue de modèles théoriques). Clergeau (2007) indique que les plantes à graines légères et les animaux capables de voler n'ont pas besoin d'emprunter les corridors pour atteindre de nouveaux habitats. Cependant, ces corridors sont utiles pour les micromammifères.

Tableau 1 : Typologie foncière et juridique (Source : CAUE de la Vendée, 2006))

Typologie des espaces verts (AIVF)
1. Parcs et squares 2. Accompagnement de voies 3. Accompagnement de bâtiments publics 4. Accompagnement d'habitations 5. Etablissements industriels et commerciaux 6. Etablissements sociaux et éducatifs 7. Sports 8. Cimetières 9. Espaces naturels 10. Campings 11. Jardins familiaux 12. Arbres d'alignement (unités) 13. Etablissement horticole

Tableau 2 : Typologie de gestion des espaces verts de Rennes (Source : Direction des Jardins de la ville de Rennes, 2008)

Code	Description
Code 1 Jardins structurés très fleuris	Aménagement essentiellement visuel et gestion sophistiquée, utilisant toute la palette végétale horticole, mise en avant des caractéristiques esthétiques des végétaux et configurations végétales : couleur, forme, volume
Code 2 Jardins structuré	Aménagement structuré et mais gestion moins sophistiquée, toute la palette végétale horticole est utilisée, dominance des arbustes pour le fleurissement, espace de détente et d'ambiances
Code 3 Jardins d'accompagnement	Jardins fonctionnels de proximité, récréatifs et habillage de bâtiments. La palette végétale est plus sobre et l'entretien minimal
Code 4 Jardins champêtres	Reproduction de la végétation visible dans la campagne (haies bocagères, prairies, chemins creux etc.), utilisation d'espèces indigènes avec dominance de végétation herbacée et semi-ligneuse spontanée, grande surface, fonction écologique (biotopes), usage récréatif
Codes 5 Jardins de nature	Grandes structures paysagères naturelles : boisements, prairies, zones humides, dominance de plantes herbacée et semi-ligneuse, entretien très localisé, fonctions écologiques importantes

Le rôle des corridors biologiques pour la dispersion des espèces animales et végétales dépendrait donc des espèces considérées et de leurs exigences écologiques. De plus, certaines espèces utilisant un espace comme habitat tandis que d'autres l'utilisent seulement comme corridors, il paraît difficile de délimiter spatialement le corridor biologique lui-même.

B. Les typologies de la végétation urbaines existantes

La mise en place d'une typologie de la végétation urbaine dans le cadre du programme de recherche VegDUD implique une analyse des typologies déjà existantes. Trois principaux types de typologies peuvent être rencontrés :

- La typologie foncière et juridique
- Des typologies dites de « gestion »
- Des typologies paysagères, d'usages et de fonctions

1. Typologie foncière et juridique

La typologie des espaces verts de l'Association des Ingénieurs des Villes de France (AIVF), cité par le CAUE de la Vendée dans son guide méthodologique de la gestion différenciée (2006), est construite par rapport à la responsabilité foncière et juridique. Autrement dit les espaces verts sont distingués les uns des autres et regroupés en fonction du service chargé de sa gestion et en fonction du propriétaire foncier de l'espace. Le Tableau 1 ci-contre énumère les composantes de cette typologie.

Cette typologie n'est pas fonctionnelle, par conséquent elle n'est pas pertinente dans le cadre de VegDUD. De plus, elle ne prend en compte que la végétation des espaces verts gérés par la collectivité, et n'intègre pas d'autres formes de végétation comme la flore spontanée, les friches, etc.

2. Typologies de gestion

Ces typologies sont mises en place par les gestionnaires des collectivités pour formaliser une gestion différenciée des espaces verts, dans l'optique de réduire les coûts d'entretien et pour réduire l'intensité de gestion dans certains espaces pour préserver l'environnement. Chaque type de végétation qui y est distingué est alors géré de manière différenciée, par rapport à des « codes qualité ». Le Tableau 2 ci-contre détaille la typologie de gestion utilisée par la ville de Rennes, (Direction des Jardins de la ville de Rennes, 2008).

Ce type de classification de la végétation prend essentiellement en compte les usages, l'esthétique du site (« jardins fleuris »), la conception et l'organisation spatiale des sites (« jardins structurés »), parfois même la symbolique des espaces (espaces « champêtres », de « nature »). Le regroupement de la végétation se fait selon un gradient espace anthropisé/non anthropisé. Même si le degré d'anthropisation ou l'intensité de gestion paraît être un critère important pour caractériser la végétation, cette typologie semble ne pas suffire pour les besoins de la typologie fonctionnelle de VegDUD. De plus, la végétation urbaine non gérée (friche ou flore spontanée) est ici ignorée.

Tableau 3 : Typologie paysagère, de fonction et d'usages de la végétation (Source : Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2000)

Types	Fonctions	Composantes
Les bois	Fonction écologique, récréative et sociale (jeux, cyclisme, équitation, pique-nique etc.)	Zones naturelles, réserves naturelles
Les pièces et cours d'eau	Stockage/évacuation des eaux de pluie Fonctions paysagères (esthétiques), écologiques, récréatives	Réseau hydrographique, zones humides
Les espaces de connexion	Connexions entre plusieurs espaces verts, talus et taillis le long des voies ferrées Fonctions de loisir et de détente, fonctions écologiques (zones refuge), esthétiques, sanitaires (filtration de la poussière, ombrage, absorption des eaux de pluie)	Cimetières, rues plantées, certains parcs, promenades et pistes cyclables plantées, étangs, cascades de squares
Les parcs	Multifonctionnel : espace de détente, de jeu, de promenade, de fêtes, de tourisme, témoignage culturel, fonction écologique, embellissement, lieux de passage	Espaces publics et sites historiques et culturels
Les voies ferrées	Fonction écologique Connexions entre les différents espaces verts urbains	Corridors verts (talus, taillis, friches ferroviaires)
Les friches urbaines et espaces délaissés	Fonction écologique (développement de la flore spontanée, micro-refuge pour la faune et la flore) Fonction paysagère et récréative si un peu aménagés	Friches miniatures, coins non bâtis, terrains vagues, terrains délaissés, friche industrielle
Bâtiments et habitations	Fonction paysagère (esthétique), Hydrologie (filtration de l'eau pluviale), Qualité de l'air (filtration des poussières), Energétique (amélioration de l'isolation thermique des bâtiments) Fonction écologique (refuges naturels), récréative	Jardins privés, abords de bâtiments industriels et administratifs, d'immeubles résidentiels, de parkings etc., façades et toits fleuris, balcons, terrasses, terrains de sport
Les plaines de jeux	Fonctions récréatives, espaces de proximité pour les habitants des quartiers	Intérieurs d'îlots, petites places, espaces de détente et de loisir
Les places	Revitalisation des quartiers et zones commerciales, lieu de passage et de rencontre (fonction sociale)	Pôles d'activités commerciales, places ou parkings où sont organisés des brocantes, marchés, kermesses etc.

3. Typologies paysagères, de fonctions et d'usages

Ce type de typologie semble se rapprocher le plus de la typologie fonctionnelle à laquelle doivent aboutir les réflexions de ce mémoire. La classification des types de végétation semble être liée à la dimension paysagère des sites, leurs usages par les habitants et leurs fonctions (écologiques, climatiques etc.). Cependant, les critères et la méthodologie utilisés pour réaliser cette typologie ne sont pas explicites, il est donc difficile de définir les caractéristiques de la végétation à l'origine de ces fonctions. Un exemple de typologie est présenté dans le [Erreur ! Source du renvoi introuvable.](#), il est issu d'un document de vulgarisation qui énumère les composantes végétales du maillage vert et bleu de la région Bruxelles-Capitale (Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2000).

Il existe d'autres typologies, comme celle de Corine Biotope, mais aucune de ces typologies ne constitue une typologie fonctionnelle de la végétation urbaine telle que celle attendue dans VegDUD. Ce constat justifie alors pleinement un travail spécifique pour mettre en place cette typologie et l'adapter au contexte particulier de VegDUD.

Tableau 4 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur le climat urbain

Caractéristiques fonctionnelles de la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur le climat urbain	Source
Surface foliaire	Interception des rayonnements lumineux (ombre) Evapotranspiration	Peck et al. (1999) Guay & Baudouin (2003) McPherson (1992) Nowak et al. (2007a) Johnston & Newton (2004), cités par Vergriete & Labrecque (2007)
Densité foliaire	Interception des rayonnements lumineux	McPherson (1992) Johnston & Newton (2004), cités par Vergriete & Labrecque (2007)
Albédo	Interception et réflexion des rayonnements lumineux	Guay & Baudouin (2003) Peck et al. (1999)
Capacité d'évapotranspiration	Evapotranspiration	Nowak et al. (2007a) Chaïb (1997)
Densité des végétaux et continuité de la canopée	Interception des rayonnements lumineux	Nowak et al. (2007) McPherson (1992)
Rugosité aérodynamique	Barrière aux vents	McPherson (1992) Nowak et al. (2007a)
Point d'eau permanent dans l'espace végétalisé	Evaporation de l'eau et abaissement des températures	GrandLyon (2010)
Facteurs externes	Mécanismes influençant l'impact sur le climat urbain	Source
Conditions climatiques/conditions du sol/adaptation de la végétation à la sécheresse	Evapotranspiration	Peck et al. (1999) Spronken-Smith & Oke (1999), cité par Vergriete & Labrecque (2007) McPherson (1992)

Tableau 5 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur l'empreinte carbone

Caractéristiques fonctionnelles de la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur l'empreinte carbone	Source
Quantité de biomasse produite	Séquestration du carbone	Nowak & Crane (2002) Jo & McPherson (1995)
Taux de croissance	Séquestration du carbone	Nowak & Crane (2002) Nowak et al. (2002)
Gestion de la végétation	Emissions de gaz à effet de serre Augmentation de la capacité photosynthétique des plantes (séquestration du carbone)	Nowak & Crane (2002) Nowak et al. (2002) Gutleben et al. (2010) Jo & McPherson (1995) Lal (2004)
Matière organique en décomposition	Décomposition de la matière organique (émissions de gaz à effet de serre) Augmentation de la capacité photosynthétique des plantes (séquestration du carbone)	Nowak et al. (2002) Lal (2004) Gutleben et al. (2010)
Facteurs externes	Mécanismes influençant l'impact sur l'empreinte carbone	Source
Conditions climatiques/conditions du sol/adaptation de la végétation aux conditions du milieu	Séquestration de carbone Emissions de carbone (pratiques de gestion supplémentaires)	Jo & McPherson (1995) Vergriete et al. (2007)

III. Méthodologie de travail

La typologie fonctionnelle de la végétation urbaine a pour objectifs de :

- Décrire la végétation par rapport à des caractéristiques influençant ses impacts écosystémiques et faire émerger des types de végétation,
- Hiérarchiser ces types de végétation par rapport à leurs fonctions écosystémiques potentielles,
- Mettre en évidence des configurations végétales remarquables, c'est-à-dire des types de végétation ayant un impact favorable pour toutes ou plusieurs fonctions écosystémiques.

Cette partie décrit la méthodologie utilisée pour construire une typologie fonctionnelle répondant à ces objectifs. Ensuite, la partie suivante présente la démarche qui a été utilisée pour tester cette typologie fonctionnelle.

A. Construction d'une typologie fonctionnelle de la végétation urbaine

Décrire la végétation urbaine par une approche fonctionnelle nécessite de connaître au préalable les caractéristiques de la végétation susceptibles d'avoir une influence sur les fonctions étudiées, c'est-à-dire le climat urbain, la qualité de l'air, l'empreinte carbone, l'hydrologie, l'écologie et la consommation énergétique des bâtiments. La première étape a consisté à mettre en évidence, grâce à la bibliographie, ces caractéristiques fonctionnelles. Certaines de ces caractéristiques sont quantitatives (valeur de surface foliaire, taux de croissance). Pour permettre une description plus qualitative de la végétation, il s'agit, dans un second temps, de traduire ces caractéristiques fonctionnelles en critères de description morphologiques et/ou qualitatifs. C'est à partir de ces critères que la typologie fonctionnelle est ensuite construite.

1. Mise en évidence des caractéristiques fonctionnelles de la végétation urbaine

a) Climat urbain

La végétation et le sol sur lequel elle se développe peuvent avoir une influence sur le climat urbain directement en interceptant et en réfléchissant une partie des rayonnements solaires, indirectement par évapotranspiration. La végétation constitue une barrière aux vents et modifie les turbulences, influençant également les températures.

Les impacts de la végétation sur le climat urbain dépendent des caractéristiques propres à la végétation, des caractéristiques de l'aménagement, et de l'environnement climatique et édaphique de la végétation (Tableau 4).

b) Empreinte carbone

La séquestration de carbone par la végétation et les sols contribue à diminuer la teneur en CO₂ de l'atmosphère. Cependant, les modes de gestion de la végétation, les éventuelles exportations de biomasse et la gestion de ces exportations peuvent être sources d'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'empreinte carbone de la végétation, c'est-à-dire le bilan de la séquestration de carbone par la végétation et des émissions dues à sa gestion, peut donc varier selon plusieurs facteurs et selon les caractéristiques fonctionnelles de la végétation, comme présenté dans le Tableau 5.

Tableau 6 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur la qualité de l'air

Caractéristiques fonctionnelles de la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur la qualité de l'air	Source
Surface foliaire	Interception des particules polluantes (dépôt sec) Absorption de certains polluants sous forme gazeuse (photosynthèse) Production d'oxygène (photosynthèse)	Centre for Ecology & Hydrology (2002) Nowak et al. (2006) Nowak et al. (2007b)
Potentiel d'émission de COV	Formation d'ozone par réaction des COV avec les oxydes d'azote (NOx)	Centre for Ecology & Hydrology (2002)
Rugosité aérodynamique	Modification des vents et de la dispersion et déposition des polluants	Escobedo & Nowak (2009) Nowak et al. (2006)
Densité des végétaux et continuité de la canopée	Effet « canyon »/ « écran », effet « toit »	
Composition floristique	Interception des particules polluantes Emissions de COV	Centre for Ecology & Hydrology (2002)
Facteurs externes à la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur la qualité de l'air	Source
Conditions climatiques (précipitations, vents, températures)	Interception des particules Evapotranspiration Dispersion des polluants	Nowak et al. (2006)

Tableau 7 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur le ruissellement et la qualité des eaux de pluie

Caractéristiques fonctionnelles de la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur le ruissellement et la qualité des eaux de pluie	Source
Surface foliaire	Interception des eaux de pluie Evapotranspiration Réduction des phénomènes contribuant à l'érosion (battance)	Nowak et al. (2007a) Chaïb (1997)
Capacité d'évapotranspiration	Evapotranspiration (désengorgement des sols)	Nowak et al. (2007a) Chaïb (1997)
Capacité épuratrice des végétaux terrestres, macrophytes et hydrophytes	Filtration, fixation et absorption/stockage des pollutions de l'eau	Nowak et al. (2007a) Chaïb (1997) GrandLyon (2008)
Présence d'un point d'eau permanent	Ruissellement, stockage et infiltration/évacuation des eaux pluviales	GrandLyon (2008)
Type de toit (toits végétalisés)	Rétention et retardement du ruissellement des eaux	VanWoert et al. (2005)
Pente de la toiture (toits végétalisés)	Rétention et retardement du ruissellement des eaux Diminution de la capacité d'évapotranspiration des végétaux (sécheresse)	VanWoert et al. (2005) Berndtsson (2010)
Facteurs externes à la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur le ruissellement et la qualité des eaux de pluie	Source
Conditions climatiques favorisant l'eutrophisation des points d'eau	Eutrophisation : réduction de la qualité de l'eau Rétention et retardement du ruissellement des eaux des toits végétaux (selon intensité des précipitations)	Bolund & Hunhammar (1999) VanWoert et al. (2005) Berndtsson (2010)

c) Qualité de l'air

La végétation peut voir des effets positifs sur la qualité de l'air en absorbant certains gaz par les stomates et en réduisant la concentration des particules polluantes fines de l'air, nocives pour la santé, par interception de ces particules polluantes. La rugosité de la végétation, en particulier des arbres, modifie sensiblement les phénomènes de turbulences et donc la dispersion des polluants et leur vitesse de déposition, engendrant des impacts soit positifs soit négatifs. Les émissions de composés organiques volatiles (COV), induisant la formation d'ozone, contribuent à dégrader la qualité de l'air. Les caractéristiques de la végétation et les facteurs qui ont une influence sur la qualité de l'air sont listées dans le Tableau 6.

d) Gestion du ruissellement et de la qualité des eaux de pluie

La végétation et le sol permettent de diminuer et de retarder significativement le ruissellement des eaux de pluies en ville : par interception de l'eau sur le feuillage, le branchage et l'écorce, par amélioration de la percolation et diminution de l'érosion, par évapotranspiration, évacuant les eaux en excès du sol. Ils agissent également comme des filtres face aux éventuels polluants que pourrait contenir l'eau de pluie (nutriments, hydrocarbures, métaux, résidus de pesticides etc.) : fixation des polluants par les sédiments du sol, dégradation par la végétation et les micro-organismes, absorption et stockage dans la biomasse végétale. Les toits végétalisés ont un impact non négligeable sur la rétention et le ruissellement des eaux de pluie. Les toits végétalisés possèdent des propriétés particulières influençant ces impacts, elles sont détaillées dans le Tableau 7 au même titre que les caractéristiques fonctionnelles de la végétation.

e) Réduction de la consommation énergétique des bâtiments

Par son influence sur le climat urbain, la végétation contribue également à la réduction de la consommation énergétique des bâtiments. Les caractéristiques fonctionnelles de la végétation sont donc les mêmes que celles citées dans la partie consacrée au climat urbain (§ a). L'emplacement de la végétation par rapport aux bâtiments et le type de toits végétalisés sont des caractéristiques supplémentaires à prendre en compte (Tableau 8).

f) Rôles écologiques

En contexte urbain, les espaces végétalisés constituent des supports importants pour la biodiversité animale et végétale, soit en tant qu'habitat, soit en tant que corridors biologiques. Certaines caractéristiques de la végétation ou des aménagements semblent favoriser ces rôles écologiques (Tableau 9).

g) Bilan

Les fonctions écosystémiques de la végétation sont donc influencées par des caractéristiques spécifiques de la végétation et qui ont pu être mises en évidence précédemment. Certaines caractéristiques sont propres à la végétation, d'autres sont propres à la configuration de l'espace végétalisé. Les facteurs externes à la végétation interviennent également. La végétation doit donc être considérée à trois échelles : l'individu (la plante), l'espace végétalisé (le site) et l'environnement du site (la ville, la région).

Le tableau en Annexe 1 récapitule l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles de la végétation à ces trois échelles en fonction des services écosystémiques qu'elles influencent, et des mécanismes impliqués. Il apparaît que certaines caractéristiques fonctionnelles sont communes à toutes les fonctions, comme les conditions climatiques et édaphiques du milieu, et d'autres sont spécifiques à certaines fonctions, comme le potentiel d'émission de COV est spécifique à la qualité de l'air.

Tableau 8 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur la consommation énergétique des bâtiments

Caractéristiques fonctionnelles de la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur la consommation énergétique des bâtiments	Source
Surface foliaire	Interception des rayonnements solaires Evapotranspiration	Nowak et al. (2007a) McPherson (1992) Akbari et al. (2001) Getter & Rowe (2006) Peck & Kuhn (2001) Hamada & Ohta (2010)
Densité foliaire	Interception des rayonnements lumineux	McPherson, 1992 Johnston & Newton, 2004, cité par Vergriete & Labrecque, 2007
Albédo	Interception et réflexion des rayonnements lumineux	Guay & Baudouin, 2003 Peck et al. (1999)
Capacité d'évapotranspiration	Evapotranspiration	Nowak et al. (2007a) Chaïb (1997)
Rugosité aérodynamique	Barrière aux vents	Nowak et al. (2007a) McPherson (1992) Akbari et al. (2001)
Exposition et distance de la végétation par rapport aux façades	Interception des rayonnements solaires (ombre portée) Evapotranspiration	Nowak et al. (2007a) McPherson (1992) Hamada & Ohta (2010)
Densité des végétaux et continuité de la canopée	Interception des rayonnements lumineux	Nowak et al. (2007a) McPherson (1992)
Point d'eau permanent dans l'espace végétalisé	Evaporation de l'eau et abaissement des températures	GrandLyon (2010)
Type de toit (cas des toits végétalisés)	Interception des rayonnements solaires Augmentation de l'albédo (toits végétaux) Evapotranspiration Isolation thermique (substrat)	Getter & Rowe (2006) Peck & Kuhn (2001)
Facteurs externes à la végétation	Mécanismes influençant l'impact sur la consommation énergétique des bâtiments	Source
Conditions climatiques et édaphiques/adaptation des végétaux aux conditions du milieu	Evapotranspiration	McPherson (1992) Akbari et al. (2001) Getter & Rowe (2006)

2. Traduction de certaines caractéristiques fonctionnelles en critères de description concrets de la végétation

Les caractéristiques fonctionnelles mises en évidence dans la partie précédente permettent de décomposer les impacts possibles de la végétation sur les fonctions étudiées dans VegDUD et les mécanismes de ces impacts. Cependant, il n'est pas aisé de décrire la végétation à partir de toutes ces caractéristiques fonctionnelles car certaines, comme la surface foliaire, sont quantitatives. Il a paru nécessaire de traduire ces caractéristiques fonctionnelles en critères de description plus qualitatifs et pouvant être appréhendés sur le terrain.

La démarche méthodologique a donc été de choisir, pour chaque caractéristique fonctionnelle, un ou plusieurs critères descriptifs et des modalités de critères. Par exemple le critère « mode de gestion » pourrait avoir deux modalités : la gestion « extensive » et la gestion « intensive ». Le choix de ces critères et des modalités s'est appuyé sur la bibliographie lorsque cela était possible. Parfois, il n'a pas été possible de s'appuyer sur la bibliographie, les choix des critères sont donc argumentés pour justifier leur pertinence.

3. Hiérarchisation des types de végétation et mise en évidence de configurations remarquables

Dans le cadre du programme de recherche VegDUD, la typologie fonctionnelle est un outil qui doit permettre par la suite de préconiser des types de végétation particuliers qui pourront être modélisés dans les scénarios alternatifs de VegDUD. En vue d'orienter les choix des types de végétation à intégrer aux scénarios alternatifs, la typologie doit permettre à l'utilisateur de décrire n'importe quel type de végétation en milieu urbain, mais aussi de déterminer l'impact potentiel de ce type de végétation sur les fonctions auxquelles nous nous intéressons.

Plusieurs problèmes méthodologiques ont émergé. Bien que beaucoup de publications puissent être trouvées sur les fonctions écosystémiques de la végétation, tous les types de végétation n'y sont pas pris en compte et il a donc été difficile de trouver de manière explicite des comparaisons entre différents types de végétation. De plus, il n'est pas possible de calibrer les appréciations que l'on pourrait donner à chaque type de végétation, c'est-à-dire de vérifier qu'il y a une correspondance entre les appréciations données et les impacts réels et mesurables. Nous pourrions par exemple considérer qu'un espace enherbé en gestion extensive est plus efficace pour atténuer l'îlot de chaleur urbain que le même espace enherbé mais géré de manière semi-intensive. Pour être certain que ces deux types de végétation ont un impact différent sur le climat, il faudrait quantifier expérimentalement leur influence respective pour constater que cet écart supposé existe réellement. Compte tenu de ces barrières méthodologiques, l'appréciation des impacts possibles de la végétation ne peut se faire que par des « tendances pressenties ». Il est donc indispensable de tester cette typologie sur des sites ayant la plus grande diversité de types de végétation possible, afin de faire ressortir ses potentialités et ses limites.

Les caractéristiques de la végétation n'ont pas toutes une contribution similaire aux fonctions écosystémiques, il paraît alors nécessaire de pondérer chaque critère de description. Par exemple, la dimension des arbres peut avoir une contribution plus importante sur l'empreinte carbone que le mode de gestion d'un espace enherbé. De plus, pour chaque critère, le sens de l'impact peut varier selon les modalités. Par exemple, un mode de gestion intensif peut avoir un impact négatif sur l'empreinte carbone, alors qu'un mode de gestion extensif a des effets positifs.

Tableau 9 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant les rôles écologiques de la végétation

Caractéristiques fonctionnelles de la végétation	Mécanismes influençant l'impact écologique	Source
Composition floristique	Diversification des habitats	Clergeau (2007) Sandström et al. (2006)
Structure de la végétation (strates)	Diversification des habitats	Clergeau (2007) Sandström et al. (2006)
Matière organique (arbres morts ou de litière)	Entretien de la microfaune du sol Apport de nutriments pour la faune et la flore	Clergeau (2007) Sandström et al. (2006) Lal (2004)
Mode de gestion	Perturbations du milieu	Sandström et al. (2006) Clergeau (2007)
Type de toit (profondeur du substrat)	Diversification des habitats	Oberndorfer et al. (2007) Peck & Kuhn (2001)
Point d'eau permanent dans l'espace végétalisé	Diversification des habitats	
Facteurs externes à la végétation	Mécanismes influençant l'impact écologique	Source
Conditions climatiques et édaphiques propices au développement des végétaux/adaptation des végétaux aux conditions du milieu	Diversification de la faune et de la flore	Peck & Kuh (2001)
Usages de l'espace, occupation du sol autour de l'espace	Perturbations du milieu	Sandström et al. (2006) Clergeau (2007)

a) Contributions des critères de description de la végétation aux fonctions écosystémiques

D'après les ressources bibliographiques, il a été constaté que tous les critères n'avaient pas le même poids les uns par rapport aux autres. Autrement dit, il ne serait pas pertinent de considérer que toutes les caractéristiques de la végétation et leurs impacts associés soient significatifs dans les mêmes proportions. Pour cette raison, des coefficients sont alloués à chaque critère, pour les hiérarchiser selon leur poids sur la fonction.

Les pondérations attribuées aux critères de description sont :

- 0 : impact non significatif du critère
- 1 : impact faiblement significatif
- 2 : impact moyennement significatif
- 3 : impact très significatif

Exemple :

Le mode de gestion des arbres est très significatif pour la fonction empreinte carbone, ce critère a donc la pondération maximale de 3. En revanche il ne contribue à aucune variation des impacts de la végétation sur le climat urbain, sa pondération est 0.

b) Niveau d'impact des critères de description de la végétation sur les fonctions écosystémiques

Pour les critères significatifs (pondérés 1, 2 ou 3), les modalités sont classées les unes par rapport aux autres par type et degré d'impact. Ces impacts relatifs ont été formalisés sous forme de « note », une note correspondant à un impact plus ou moins positif ou négatif. Cinq niveaux d'impact ont été déterminés :

- -3 : impact négatif de la modalité sur la fonction
- 0 : pas d'impact
- 1 : impact faiblement positif
- 2 : impact moyennement positif
- 3 : impact fortement positif

Exemple :

Un arbre dont la dimension est supérieure à 20 mètres de haut a un impact très positif sur l'empreinte carbone et correspond à une note de 3. Un arbre inférieur à 5 mètres de haut a un impact positif mais plus faible que le cas précédent, il correspond à une note de 1.

Pour donner une appréciation aux impacts négatifs, il n'a pas été aisé, dans la bibliographie, de mettre en évidence différents degrés d'impacts négatifs, à l'inverse des impacts positifs divisés en 3 degrés. La note numérique attribuée à une modalité dont l'impact est négatif correspond donc à la valeur négative de l'extrême positif.

Si la note « 0 », signifiant « pas d'impact », est attribuée à une modalité, cela aura un effet négatif sur l'appréciation. Nous faisons donc l'hypothèse que la note « 0 », ou l'absence d'impact positif ou négatif ne signifie pas « neutre » mais a bien un effet négatif sur l'appréciation finale.

La qualification de chaque type de végétation se fait ensuite en multipliant, pour chaque critère, la note attribuée à la modalité observée et la pondération du critère. En additionnant les notes de l'ensemble des critères, on obtient un total de point. La note finale, comprise entre 0 et 1, est le rapport du total de points obtenu pour chaque type de végétation et du total de points du type de végétation qui obtient le maximum de points pour l'ensemble des critères.

4. Evaluation des configurations végétales

Chaque type de végétation ou configuration végétale se voit alors attribuer une « note » globale, qui n'est pas une évaluation quantitative des types de végétation mais simplement un moyen de comparer les types de végétation les uns par rapport aux autres, de les « situer », sur une échelle déterminée, par rapport à leurs impacts potentiels. Les impacts potentiels de chaque type de végétation ne peuvent pas être considérés indépendamment de leur surface, pour deux raisons :

- A l'échelle de la configuration, la végétation pourrait obtenir une note performante si l'on ne considérait pas sa surface, c'est-à-dire dans l'absolu. En revanche, à l'échelle du site, si sa surface est très faible et ne représente qu'un petit pourcentage, son impact potentiel peut alors devenir insignifiant.
- La somme de types de végétation ayant un faible impact peut au final avoir un impact très significatif par rapport à un élément de végétation de fort impact, mais de très faible surface.

Pour prendre en compte la surface dans l'appréciation, le pourcentage de surface par rapport au site entier est calculé pour chaque type de végétation. Ce pourcentage est ensuite multiplié par l'appréciation obtenue précédemment pour chaque fonction. Les configurations végétales remarquables peuvent donc être mises en évidence par rapport à leurs impacts « dans l'absolu », représentant en fait l'impact par unité de surface, et par rapport aux impacts « réels », proportionnels à la surface qu'elles occupent.

B. Test de la typologie fonctionnelle de la végétation urbaine

Afin de vérifier si la typologie fonctionnelle de la végétation répond bien aux objectifs fixés, il est nécessaire de la tester *in situ*, sur des sites à déterminer. La cartographie a été un support intéressant pour tester cette typologie car elle a permis de représenter spatialement les impacts de la végétation à l'échelle des sites-test.

1. Choix des sites

Le premier critère de choix des sites a été la diversité des types de végétation. En effet, compte tenu des variations importantes des configurations végétales en milieu urbain, il était important que cette typologie soit testée sur un maximum de types de végétation et qu'une diversité d'impacts écosystémiques soit mise en évidence. Les sites étaient d'autant plus intéressants que des types de végétation pressentis comme remarquables du point de vue des fonctions étudiées étaient présents. Les caractéristiques relatives aux formes urbaines ont été prises en compte lorsque cela était possible : les sites devaient se situer dans des zones de densité démographique et à des degrés d'urbanisation distincts (centre-ville, banlieue, périurbain). Les sites choisis devaient de préférence être inscrits dans des contextes de bâti et d'usages différents (zones industrielles, zones résidentielles, zones commerciales etc.).

2. Démarche de test

a) Cartographie des types de végétation

Le système d'information géographique a été un support important pour l'évaluation de cette typologie fonctionnelle. En effet, l'approche cartographique donne une information sur la surface occupée par les types de végétation et permet donc de la prendre en compte dans l'évaluation des impacts.

La typologie en tant que telle ne permet pas de délimiter spatialement les types de végétation, mais seulement de les décrire. Au préalable, il a donc été nécessaire de définir, à l'intérieur de chaque site, des grands types de végétation grâce à certains critères de description. Les critères les plus pertinents pour définir ces types de végétation sont donc détaillés dans la partie résultats. Une fois délimité spatialement, chaque type de végétation a fait l'objet d'observations et de relevés de terrain. Les caractéristiques relevées correspondent aux critères et aux modalités de la typologie (cf. § IV.A.1.).

Etant donné le degré de précision de ces relevés de terrain, une résolution de 25 m² a été fixée. Tout type de végétation dont la surface était inférieure à 25 m² n'a donc pas été pris en compte.

Le logiciel de SIG Quantum GIS ® (version 1.4.0 'Enceladus') a été utilisé pour cartographier les types de végétation.

b) Evaluation de la typologie fonctionnelle

De manière générale, les résultats des relevés de terrain ont été évalués par rapport aux objectifs auxquels doit répondre la typologie fonctionnelle (cf. introduction de cette partie). Pendant les relevés de terrain, des ajustements ont été faits sur plusieurs aspects :

- Le **choix des critères** et caractéristiques de la végétation considérés comme importants pour qualifier les types de végétation, le **choix des modalités** et la **définition** donnée à ces critères et modalités.
- La **qualification des modalités** de critères selon un gradient d'impact potentiel (impact négatif → impact très positif).
- La **pondération des critères** les uns par rapport aux autres pour chaque fonction considérée
- La **pertinence de l'évaluation des types de végétation** par rapport aux résultats pressentis

Lorsque les ajustements n'ont pas été faits avant les relevés de terrain, ils sont mis en évidence dans la partie résultats puis dans la partie discussion.

IV. Résultats

A. Proposition d'une typologie de la végétation urbaine et d'une méthode d'évaluation des types de végétation

1. Définition des critères de description de la végétation urbaine et de leurs modalités

La typologie de la végétation urbaine s'articule autour de critères de description de la végétation à plusieurs échelles : l'échelle de l'individu, l'échelle de la configuration ou du site, l'échelle de l'agglomération ou de la région. Les critères de description pour chaque échelle sont déclinés à partir des caractéristiques fonctionnelles mises en évidence dans la partie « méthodologie de travail ». Une définition de chaque critère de description est fournie en Annexe 3. Cette partie intègre déjà certains ajustements qui ont pu être faits pendant les tests de la typologie. Lorsqu'il était difficile de les prendre en compte directement, ils sont énumérés dans la partie discussion.

a) Caractéristiques fonctionnelles propres à la végétation

▪ Surface foliaire

Plusieurs critères ont été choisis comme indicateurs de la surface foliaire :

- Le **type de végétation** : les arbres ont une surface foliaire plus importante que les arbustes, celle des arbustes est supérieure à celle des plantes herbacées.
- La **dimension des arbres** : les variations de hauteur entre les arbres jeunes et les arbres matures étant assez importantes, il convient d'en faire la distinction pour caractériser la surface foliaire. Dans le cadre de cette étude, nous avons distingué par ordre de surface foliaire croissante les arbres de troisième grandeur (5 mètres de hauteur maximum), les arbres de deuxième grandeur (de 5 à 20 mètres) et les arbres de première grandeur (plus de 20 mètres). Le **mode de gestion** : pour les plantes herbacées en particulier, les différences de surface foliaire peuvent être importantes selon la fréquence des tontes. Nous distinguerons donc trois types de gestion de la strate herbacée : la gestion extensive, la gestion semi-intensive, et la gestion intensive.
- La **persistance du feuillage** : la surface foliaire des plantes ligneuses varie fortement selon les saisons. La saisonnalité est introduite dans la typologie grâce à ce critère, puisqu'une distinction est faite entre les arbres et arbustes caducs ou persistants, les variations de surface foliaire n'étant significatives qu'en hiver.
- La **forme ou le port des arbres** : la projection des houppiers sur le sol détermine l'ombre apportée par le feuillage des arbres. La forme des arbres traduit si ceux-ci sont conduits en forme architecturée ou libre. Le port désigne la forme prise naturellement par le houppier, c'est-à-dire lorsque l'arbre est en forme libre. Pour les besoins de l'étude, nous distinguons donc les arbres à port érigé et les arbres à port non érigé.

▪ Densité foliaire

La densité foliaire est une caractéristique fonctionnelle pertinente car elle détermine la quantité de rayonnements solaires interceptés par le feuillage des arbres et donc le degré d'ombrage apporté par les arbres. A moins de connaître l'espèce et de disposer de valeurs de densité foliaire pour chaque espèce rencontrée, cette caractéristique a paru difficile à intégrer dans la typologie car difficile à estimer sur le terrain. En revanche, la densité de la végétation à l'échelle de la configuration (cf. § b) permet indirectement de prendre en compte la densité du feuillage.

- *Albédo du feuillage*

L'albédo, ou pourcentage de rayonnements réfléchis par une surface, varie selon le type de plantes. Nous distinguerons donc les différents **types de végétation** : arbres, arbustes et plantes herbacées pour prendre en compte l'albédo dans la typologie.

- *Rugosité aérodynamique*

La rugosité de la végétation a une influence sur la vitesse des vents et les turbulences, en particulier les arbres. Pour caractériser cette rugosité, la **forme des arbres** (érigée, non érigée) semble de nouveau pertinente. En effet, un arbre à port érigé a moins de prise au vent qu'un arbre à port non érigé, ce dernier constitue donc une barrière plus importante aux vents.

- *Quantité de biomasse produite*

Dans le cadre de la typologie, la quantité de biomasse produite par la végétation est fonction :

- Du **type de végétation** : les arbres produisent plus de biomasse que les arbustes, produisant eux-mêmes plus de biomasse que les plantes herbacées.
- De la **dimension des arbres** : un arbre jeune constitue une quantité de biomasse moins importante qu'un arbre mature.
- Du **mode de gestion de la végétation** : la gestion peut être à l'origine d'exportations de biomasse, qui, selon les apports de matière organique réalisés par ailleurs et la gestion de ces exportations, peuvent annuler les bénéfices d'une séquestration antérieure de carbone par les végétaux. Pour les plantes herbacées, nous avons distingué 3 degrés de gestion (extensive, semi-intensive, intensive). Pour les plantes ligneuses, arbres et arbustes, nous avons distingué le cas où les plantes sont taillées régulièrement du cas où elles sont peu ou pas taillées.

- *Taux de croissance*

Cette caractéristique fonctionnelle dépendant directement des familles, genres ou espèces botaniques de végétaux, nous ne l'avons pas prise en compte dans la typologie. En effet, nous testons l'hypothèse qu'il est possible de décrire la végétation en utilisant des critères non spécifiques aux taxons.

- *Potentiel d'émission de COV*

De la même manière que pour la caractéristique précédente, nous n'avons pas intégré le potentiel d'émission de COV dans la typologie de la végétation urbaine. En revanche, la caractéristique « composition floristique » permet d'intégrer indirectement les émissions de COV. En effet, nous considérons que l'impact d'éventuelles émissions de COV pourrait être limité par une composition floristique hétérogène.

- *Capacité d'évapotranspiration*

La capacité d'évapotranspiration des végétaux correspond à la quantité d'eau que la végétation est capable de relâcher dans l'atmosphère. Cette caractéristique dépend du **type de végétation** (arbres, arbustes, herbacées), que nous choisissons comme critère. Les conditions édaphiques, principalement l'humidité du sol, les conditions climatiques et l'adaptation des végétaux à ces conditions ont également une influence sur la capacité d'évapotranspiration des végétaux. L'adaptation des végétaux est dépendante des exigences écologiques de chaque espèce, et ne peut donc pas être intégrée dans la typologie. En revanche, les **conditions édaphiques et climatiques** sont caractérisées par un critère « humidité temporaire du sol » (cf. § c)).

- *Capacité épuratrice des végétaux*

Cette caractéristique concerne l'amélioration de la qualité des eaux pluviales par les végétaux terrestres et les végétaux macrophytes et hydrophytes. Pour prendre en compte cette caractéristique dans la typologie, nous avons choisi de nous concentrer sur le cas des zones humides ou des points d'eau, et d'y renseigner la **présence ou l'absence de végétaux macrophytes ou hydrophytes**. En effet, il a semblé plus aisé de comparer différentes configurations de points d'eau (avec ou sans végétaux macro- ou hydrophytes) que de comparer l'impact de différents types de végétaux terrestres sur la qualité des eaux pluviales.

b) Configuration de l'espace végétalisé

- *Densité de la végétation et continuité de la canopée*

Ces caractéristiques de la configuration ont une influence sur le climat urbain, la qualité de l'air, la consommation énergétique des bâtiments et l'hydrologie puisqu'elles renseignent sur la densité foliaire (cf. § a)) ou la surface foliaire par unité de surface. La densité de la végétation influence également l'empreinte carbone de la végétation car elle détermine la quantité de biomasse produite par les plantes. Dans le cadre de cette étude, et pour les plantes ligneuses, la densité de la végétation sera définie en distinguant les **arbres et arbustes groupés ou alignés de ceux qui sont isolés**. Nous définissons des végétaux comme isolés à partir du moment où la limite du houppier ou du feuillage est à plus de 10 mètres de la limite du houppier/feuillage d'un autre arbre ou arbuste. La densité de la végétation paraît moins pertinente pour la strate herbacée et par ailleurs assez délicate à estimer sur le terrain.

Pour les tests de la typologie *in situ*, le critère de densité de végétation a été utilisé pour toutes les fonctions pour délimiter spatialement les types de végétation (cf. § III.B.2.).

Dans une configuration d'arbres groupés, il est intéressant de considérer la **continuité « verticale » et « horizontale » des houppiers**. Des houppiers continus horizontalement, qui ont un **effet « toit »**, interceptent un maximum de rayonnements solaires mais laissent peu circuler l'air et la pollution qui l'accompagne. Des houppiers continus verticalement, qui ont un **effet « écran »**, empêchent également la dispersion de la pollution atmosphérique, mais ont peu d'impact sur le climat. Pour des arbustes groupés, nous ne considérons que l'effet écran, l'effet toit n'a en effet pas lieu d'être compte tenu de la hauteur limitée des arbustes.

- *Composition floristique*

La **composition floristique** est une caractéristique de la configuration que nous garderons telle quelle en tant que critère de description de la végétation. Elle permet d'évaluer l'impact écologique de la végétation et permet indirectement de prendre en compte les émissions de COV par certains végétaux, facteur de dégradation de la qualité de l'air (cf. § a)). Nous distinguons alors deux types de composition floristique : hétérogène, lorsqu'il n'y a pas d'espèces dominantes, et homogène, lorsqu'une seule espèce représente plus de 50 % de la végétation considérée.

- *Structure de la végétation*

La caractéristique « structure de la végétation » donne une information sur le nombre et le type de strates composant la végétation. Nous distinguons donc les **types de végétation** (arbres, arbustes, herbacées), correspondant chacun à une strate. Pour être considéré comme une sous-strate, un type de végétation doit représenter au moins 50% de la surface occupée par la strate dominante.

- *Occupation du sol et usage de la végétation*

Cette caractéristique de la configuration végétale n'a pas été directement intégrée dans la typologie, car il semblait plus aisé d'en faire un élément de description et d'appréciation plus générale du site. L'occupation du sol et les usages du site ont donc été présentés dans le cadre de l'évaluation de la typologie sur les sites-test (cf. § IV.B.1.).

- *Mode de gestion de la végétation*

Le mode de gestion intervient dans toutes les fonctions considérées dans le cadre de ce mémoire car il influe sur la surface foliaire (cf. § IV.A.1.a)), les exportations de carbone et, selon son intensité, peut être source de perturbations et gêner le développement de certains végétaux et animaux. Dans les paragraphes précédents, nous avons distingué le **mode de gestion des strates ligneuses** (taillées/non taillées) et le **mode de gestion de la strate herbacée** (extensive/semi-intensive/intensive). Nous avons fait le choix de ne caractériser le mode de gestion des strates ligneuses que pour évaluer l'impact de la végétation sur l'empreinte carbone (exportations), son impact paraît moins significatif sur les autres fonctions. En revanche, la surface foliaire de la strate herbacée peut fortement varier selon le mode de gestion. Dans le cas de la strate herbacée, le mode de gestion est pris en compte pour toutes les fonctions.

- *Matière organique en décomposition*

Cette caractéristique a toute son importance pour l'empreinte carbone et l'écologie. Comme il est difficile de réaliser des analyses de sol, la présence de matière organique sera évaluée par rapport à la **présence de litière** (naturelle ou mulch) **ou de bois mort laissé** en place. Le terme litière concerne également la strate herbacée.

- *Exposition et distance de la végétation par rapport aux façades*

Ces deux caractéristiques de configuration végétale ont un impact significatif sur la consommation énergétique des bâtiments. Cependant c'est un critère difficile à renseigner car il peut varier en fonction des bâtiments que l'on considère. Par exemple, dans le cas d'un jardin collectif en cœur d'immeubles, les végétaux situés au centre des bâtiments ont une orientation différente selon la façade considérée. Ce critère n'a donc pas été renseigné.

L'influence de la végétation sur la consommation énergétique des bâtiments n'étant effective qu'à une certaine distance des bâtiments, nous avons choisi de considérer cette fonction seulement dans les cas où l'espace végétalisé comporte des bâtiments.

- *Présence d'un point d'eau permanent*

A l'échelle du site, la **présence d'un point d'eau permanent** offre la possibilité de stocker les eaux pluviales et permet de réduire les températures. La présence d'eau permanente dans le site est donc un aspect positif pour la gestion des eaux pluviales, et nous choisissons d'en faire un critère de description du site. De plus, **l'aménagement d'un impluvium** vers le point d'eau permet de maîtriser le ruissellement des eaux pluviales et de les acheminer vers ce point d'eau. Enfin, la **perméabilité du point d'eau** est un critère qu'il faut considérer puisque celle-ci permet l'évacuation des eaux pluviales en excès par infiltration dans le sol.

La présence d'un point d'eau est aussi une source importante d'habitat pour la faune et la flore.

- *Type de toit (toits végétalisés)*

Dans le contexte spécifique des toits végétalisés, le **type de toit** renseigne sur la profondeur du substrat, le type de végétation qui s'y développe et l'intensité de la gestion de ces végétaux. Un toit extensif possède un substrat de faible profondeur (<15cm), des plantes essentiellement herbacées, et une gestion extensive voire nulle de la végétation. Les toits intensifs, à l'extrême opposé, ont un

substrat profond (> 30 cm), peuvent accueillir tous les types de plantes (ligneuses et herbacées), qui sont gérées de manière plutôt intensive, puisqu'irriguées et tondues régulièrement.

- *Pente du toit (toits végétalisés)*

La capacité de rétention en eau et la vitesse de ruissellement des eaux pluviales sont fortement influencées par la **pente des toits végétalisés** : plus la pente est forte, plus la capacité de rétention est faible et plus la vitesse de ruissellement est importante.

c) Facteurs externes à l'espace végétalisé

- *Conditions climatiques et adaptation des végétaux aux conditions climatiques du site*

Les conditions climatiques garantissent le bon développement des plantes, leur vigueur et donc leur capacité à remplir les fonctions écosystémiques auxquelles nous nous intéressons. Cependant, il est difficile d'intégrer ces conditions dans la typologie, compte tenu de la grande variabilité des conditions climatiques possibles sur le territoire métropolitain. Dans le cadre de cette typologie, nous considérons les types de végétation indépendamment des contraintes climatiques, en faisant l'hypothèse que les végétaux y sont adaptés.

- *Conditions édaphiques et adaptation des végétaux aux conditions édaphiques du site*

De la même manière que les conditions climatiques, des conditions édaphiques adaptées permettent le bon développement des végétaux. Des analyses de sol pourraient fournir tous les renseignements nécessaires pour connaître le contexte de croissance des végétaux, et en comparant ces résultats avec les exigences écologiques des espèces végétales présentes, nous serions capables d'apprécier le potentiel des végétaux à bien s'y développer. Or, il n'est pas certain que les caractéristiques du sol puissent être intégrées dans la typologie de la végétation urbaine au même titre que tous les autres critères de description énumérés précédemment. De plus, pour connaître les exigences écologiques des végétaux, il faudrait déterminer les espèces végétales, ce qui paraît contradictoire avec l'hypothèse que nous souhaitons tester. Pour prendre en compte les conditions édaphiques la présence ou non **d'humidité temporaire du sol** a été renseignée, soit en le constatant *de visu*, soit par la présence de plantes macrophytes.

- *Conditions d'eutrophisation d'un point d'eau*

L'eutrophisation des points d'eau fait suite à un apport ou à une présence excessive de nutriments dans l'eau (notamment phosphore et azote) conduisant à une raréfaction de l'oxygène. Ce phénomène est favorisé par une augmentation des températures de l'eau. Un point d'eau en condition d'eutrophisation ne remplirait alors plus les fonctions épuratrices de l'eau mises en évidence dans la bibliographie. **L'ensoleillement ou l'ouverture du point d'eau** semble donc être un critère pertinent, ainsi que la **profondeur du point d'eau** (supérieure ou inférieure à 1 mètre), qui détermine la capacité de l'eau à se réchauffer en situation d'ensoleillement.

En synthétisant l'ensemble des critères et modalités de description de la végétation urbaine cités précédemment, une typologie peut être construite. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre la typologie fonctionnelle générale, mêlant l'ensemble des critères de description de la végétation pour toutes les fonctions écosystémiques. Six typologies fonctionnelles de la végétation apparaissent, une typologie pour chaque fonction écosystémique. Elles sont présentées sous forme d'un tableau, en Annexe 2. Deux typologies spécifiques ont été élaborées pour les toits végétalisés et les points d'eau permanents et figurent en Annexe 4 et Annexe 5.

2. Hiérarchisation des types de végétation par rapport à leurs potentiels impacts écosystémiques

L'étude bibliographique (§ II.A.) a montré que tous les critères choisis pour décrire la végétation n'ont pas la même influence sur les fonctions écosystémiques. Dans quelles proportions les caractéristiques de la végétation influencent-elles ses impacts écosystémiques ? Dans quel sens (positif ou négatif) ?

Cette partie définit donc dans un premier temps la contribution de chaque critère aux fonctions écosystémiques considérées. En suite, il s'agit de déterminer de quelle manière ces critères font varier les impacts de la végétation sur ces fonctions. La signification des notations données peut être trouvée dans la partie méthodologie de travail (cf. § III.A.3.).

a) Pondération des critères de description de la végétation

▪ *Climat urbain*

L'impact de la végétation sur le climat urbain est majoritairement influencé par la surface foliaire, à la fois pour l'ombre et l'évapotranspiration (cf. II.A.1). Cette surface foliaire varie beaucoup selon le type de végétation : un arbre a une surface foliaire plus importante qu'un arbuste et qu'une plante herbacée. Par conséquent, la pondération maximale (3) est attribuée à tous les critères de description qui concernent la strate arborée, la pondération intermédiaire pour les arbustes (2) et la pondération minimale pour les herbacées (1).

La pondération maximale (3) est donnée au critère d'humidité du sol, car celui-ci détermine la capacité de tout type de végétation à évapotranspirer et à se développer correctement dans le milieu. Cette pondération sera d'ailleurs utilisée pour toutes les autres fonctions.

Concernant les cas particuliers des toits végétalisés et des points d'eau, chacun possédant un seul critère de description pour la fonction climat urbain, le coefficient maximal (3) leur est donné.

▪ *Qualité de l'air*

De la même manière que pour la fonction climat urbain, c'est principalement la surface foliaire qui détermine dans quelles proportions la végétation a un impact sur la fonction qualité de l'air. La pondération maximale (3) est donc attribuée à tous les critères de description qui concernent la strate arborée, la pondération intermédiaire pour les arbustes (2) et la pondération minimale pour les herbacées (1).

Le critère de composition floristique a une pondération minimale, car l'impact réel de ce critère sur les émissions de COV n'est pas certain : même si un bois peut avoir une composition floristique hétérogène, ce qui serait a priori bénéfique puisqu'on diminue les chances de n'avoir que des arbres produisant des COV, il n'est pas garanti qu'une grande partie voire toutes les espèces présentes ne soient émettrices de COV.

Le critère d'humidité du sol a une pondération maximale (cf. §.a) « climat urbain »).

Dans le cas spécifique des toits végétalisés, il n'y a qu'un seul critère (type de toits) avec une pondération de 3.

Il n'a pas été trouvé d'impact spécifique des points d'eau sur la qualité de l'air.

▪ *Empreinte carbone*

Pour cette fonction, la caractéristique la plus déterminante est la quantité de biomasse produite par la végétation. Les arbres produisant plus de biomasse que les arbustes et les herbacées, l'ensemble des critères de la strate arborée a donc la pondération maximale (3), les arbustes la pondération intermédiaire (2) et les plantes herbacées la pondération minimale (1).

Tableau 10 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction climat urbain

Critères\Notation des modalités des critères	-3	0	1	2	3
Strate arborée	Absence strate arborée			Présence strate arborée	
Densité des arbres	Arbres isolés			Arbres groupées ou alignées	
Persistance du feuillage des arbres	Feuillage persistant			Feuillage caduc	
Dimensions des arbres	Arbre de troisième grandeur			Arbre de deuxième grandeur	Arbre de première grandeur
Forme des arbres	Forme libre, port érigé			Forme architecturée	Forme libre, port non érigé
Effet « toit » des houppiers	Pas d'effet toit			Effet toit	
Effet « écran » des houppiers	Effet écran			Pas d'effet écran	
Strate arbustive	Absence strate arbustive			Présence strate arbustive	
Densité des arbustes	Arbustes isolés			Arbustes groupées ou alignées	
Persistance du feuillage des arbustes	Feuillage persistant			Mixte	Feuillage caduc
Strate herbacée	Absence strate herbacée			Présence strate herbacée	
Gestion de la strate herbacée	Gestion herbacée intensive			Gestion semi-intensive	Gestion extensive
Humidité temporaire	Pas de trace d'humidité			Traces d'humidité	
Type de toit (cas de toit végétalisé)	Toit extensif*			Toit semi-intensif*	Toit intensif*
Présence d'eau permanente (cas d'un point d'eau)	Absence d'eau permanente			Présence d'eau permanente	

* un toit extensif possède un substrat de moins de 15 cm de profondeur, un toit semi-intensif un substrat de 15 à 30 cm de profondeur, et un toit intensif un substrat de plus de 30 cm d'épaisseur.

Il y a cependant une exception pour le mode de gestion de la strate herbacée. Selon son intensité, les émissions de carbone et de gaz à effet de serre par la strate herbacée peuvent être largement supérieures à la quantité de carbone séquestré par cette même strate. Par conséquent, nous lui attribuons une pondération maximale (3).

La présence de bois mort ou de litière a une pondération maximale (3) car elle permet à la fois de caractériser la séquestration du carbone par le sol et de prendre en compte la compensation des exportations de carbone engendrées par le mode de gestion. Toute variation est alors considérée comme très significative.

Le critère d'humidité du sol a une pondération maximale (cf. § a) « climat urbain »).

Dans le cas spécifique des toits végétalisés, il n'y a qu'un seul critère pour caractériser l'impact de la végétation sur l'empreinte carbone, nous lui donnons la pondération maximale (3).

Il n'a pas été trouvé d'impact spécifique des points d'eau sur l'empreinte carbone.

▪ *Consommation énergétique des bâtiments*

La plupart des critères choisis pour décrire l'impact de la végétation sur la consommation énergétique des bâtiments sont communs avec ceux de la fonction « climat urbain », ce sont également les mêmes pondérations.

Le critère d'humidité du sol a une pondération maximale (cf. § a) « climat urbain »).

Dans le cas spécifique des toits végétalisés (« type de toit ») et des points d'eau (« présence de point d'eau »), la pondération est de 3.

▪ *Hydrologie et qualité des eaux pluviales*

Pour la fonction hydrologie, la surface foliaire détermine majoritairement la pondération des critères de description de la végétation, de même que pour la fonction « climat urbain ». La pondération maximale (3) est attribuée à tous les critères de description qui concernent la strate arborée, la pondération intermédiaire pour les arbustes (2) et la pondération minimale pour les herbacées (1).

Le critère d'humidité du sol a une pondération maximale (cf. § a) « climat urbain »).

Dans le cas spécifique des toits végétalisés, il n'a pas été aisé de déterminer les poids relatifs du « type de toit » et de la « pente du toit ». Ces deux critères ont donc la même pondération (3).

Pour les mêmes raisons que pour les toits végétalisés, les critères descriptifs des points d'eau ont également une pondération identique (3).

▪ *Ecologie*

Dans le cas des fonctions écologiques de la végétation, tous les types de végétation ont la même pondération (3). En effet, la bibliographie n'a pas permis de hiérarchiser les différents types de strates. Chaque type de strate est un habitat spécifique, abritant une faune et une flore spécifique mais leur impact écologique, en termes de biodiversité, est considéré comme identique.

La pondération est de 3 pour les critères de description des toits végétalisés et des points d'eau.

Le tableau figurant en Annexe 6 résume les pondérations choisies pour chacun des critères de description et pour chaque fonction. Les coefficients « 0 » sont attribués lorsque le critère n'a pas été considéré comme influent sur les fonctions écosystémiques. Les critères spécifiques à la strate arborée sont sur fond rouge, ceux qui sont spécifiques à la strate arbustive sont en gris, et à la strate herbacée en vert.

Tableau 11 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction qualité de l'air

Critères\Notation des modalités des critères		-3	0	1	2	3
Strate arborée			absence strate arborée			présence strate arborée
Densité des arbres				arbres isolés		arbres groupées ou alignées
Persistance du feuillage des arbres				Feuillage caduc		Feuillage persistant
Dimensions des arbres				arbre de troisième grandeur	arbre de deuxième grandeur	arbre de première grandeur
Forme des arbres				Port non érigé		port érigé
Effet « toit » des houppiers		Effet toit				Pas d'effet toit
Effet « écran » des houppiers		Effet écran				Pas d'effet écran
Composition floristique des arbres				Homogène		Hétérogène
Strate arbustive			absence strate arbustive			présence strate arbustive
Densité des arbustes				Arbustes isolés		arbustes groupées ou alignées
Persistance du feuillage des arbustes				Feuillage caduc	mixte	feuillage persistant
Composition floristique des arbres				Homogène		Hétérogène
Effet « écran » du feuillage		Effet écran				Pas d'effet écran
Strate herbacée			absence strate herbacée			présence strate herbacée
Gestion de la strate herbacée				gestion herbacée intensive	gestion semi-intensive	gestion extensive
Composition floristique des arbres				Homogène		Hétérogène
Humidité temporaire			Pas de trace d'humidité			Traces d'humidité
Type de toit (cas de toit végétalisé)				Toit extensif	Toit semi-intensif	Toit intensif

b) Hiérarchisation des modalités de chaque critère de description par fonction

■ *Climat urbain*

Bien que chaque type de végétation ait des impacts différents sur le climat urbain (cf. a)) la présence de tout type de végétation est bénéfique soit grâce à l'évapotranspiration, soit grâce à l'ombre qu'elle peut fournir.

La persistance du feuillage modère l'impact des arbres et arbustes sur le climat urbain en fonction des saisons. Les arbres et arbustes caducs ont l'avantage de fournir de l'ombre en été et de laisser passer les rayonnements solaires en hiver pour augmenter les températures en hiver, ce qui n'est pas le cas lorsque leur feuillage est persistant (McPherson, 1992).

La dimension des arbres détermine leur surface foliaire, donc leur ombre potentielle et leur évapotranspiration. Les arbres de première grandeur (> 20 mètres de haut) ont une surface foliaire supérieure aux arbres de deuxième grandeur (entre 5 et 20 mètres de haut) et de troisième grandeur (moins de 5 mètres de hauteur).

La forme du houppier peut faire varier l'ombre projetée au sol et la rugosité aérodynamique des arbres. Pour deux arbres de même maturité, l'ombre projetée du houppier de l'arbre à port non érigé est plus importante en surface que celle de l'arbre à port érigé, que ce soit en hiver ou en été (Bouyer, 2009).

La densité des arbres et arbustes influence la densité foliaire, des arbres/arbustes groupés ou alignés possèdent une densité foliaire plus importante que des arbres/arbustes isolés.

La surface foliaire d'une strate herbacée extensive (tonte occasionnelle) est plus importante que celle d'une strate herbacée gérée intensivement (Peck et al., 1999).

Selon Nowak et al. (2007), une canopée clairsemée, où il n'y a pas d'effet « toit », a un effet néfaste sur le climat urbain. En effet, les rayonnements solaires n'étant pas interceptés à certains endroits, la chaleur rayonnée s'accumule sous la canopée. McPherson (1992) indique que l'air doit également pouvoir circuler entre les arbres pour permettre la formation de brises. Un effet « écran » des houppiers des arbres contribuerait moins à une réduction de la température.

Une certaine humidité au sol a toujours un effet positif sur le climat car elle permet l'évapotranspiration par les arbres (McPherson, 1992).

Dans le cas d'un toit végétalisé, les toits intensifs ont un impact plus favorable sur le climat urbain que les toits extensifs, car il y a plus de strates différentes, y compris arborée, sur les toits intensifs, contrairement aux toits extensifs qui ne possèdent qu'une strate herbacée (Peck & Kuhn, 2001).

La présence de point d'eau a un effet positif sur le climat urbain, car l'évaporation de l'eau rafraîchit l'air ambiant (GrandLyon, 2008).

Le Tableau 10 résume l'attribution des notes à chaque modalité des critères de description de la végétation pour la fonction climat urbain.

■ *Qualité de l'air*

La surface foliaire détermine principalement l'impact de la végétation sur la qualité de l'air, comme c'est également le cas pour le climat urbain. Nous utilisons donc les mêmes notations pour les modalités des critères « types de végétation », « densité de la végétation », « dimensions des arbres » et « mode de gestion de la strate herbacée » (cf. 0 « climat urbain »).

En revanche, pour cette fonction, la persistance du feuillage est souhaitée, car elle rend également possible l'interception des particules de pollution en hiver.

Les caractéristiques de la configuration doivent favoriser la circulation de l'air pour permettre la dispersion des polluants et éviter une augmentation des concentrations des polluants sous la canopée des arbres (McPherson, 1992). Le critère « forme du houppier » des arbres est donc noté différemment de la fonction précédente car les ports érigés permettent une meilleure dispersion des polluants que les arbres à port non érigé.

Tableau 12 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction empreinte carbone

Critères\Notation des modalités des critères	-3	0	1	2	3
Strate arborée		absence strate arborée			présence strate arborée
Densité des arbres			arbres isolés		arbres groupés
Dimensions des arbres			arbre de troisième grandeur	arbre de deuxième grandeur	arbre de première grandeur
Gestion des arbres			arbres taillés		arbres non taillés
Strate arbustive		absence strate arbustive			présence strate arbustive
Densité des arbustes			arbustes isolés		arbustes groupés
Gestion des arbustes			arbustes taillés		arbustes non taillés
Strate herbacée		absence strate herbacée			présence strate herbacée
Gestion de la strate herbacée	gestion intensive		gestion semi-intensive		gestion extensive ou pas de gestion
Bois morts ou litière		absence de bois mort ou litière			présence de bois mort ou litière
Traces d'humidité du sol		Absence de trace d'humidité du sol			Traces d'humidité du sol
Type de toit (cas de toits végétaux)			Toit extensif	Toit semi-intensif	Toit intensif

Tableau 13 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction consommation énergétique des bâtiments

Critères\Notation des modalités des critères	-3	0	1	2	3
Strate arborée		absence strate arborée			Présence strate arborée
Densité des arbres			arbres isolés		arbres groupés ou alignés
Persistance du feuillage			feuillage persistant	mixte	feuillage caduc
Dimensions des arbres			arbre de troisième grandeur	arbre de deuxième grandeur	arbre de première grandeur
Forme des arbres			Forme libre, port érigé	Forme architecturée	Forme libre, port non érigé
Effet toit des houppiers			Pas d'effet toit		Effet toit
Effet écran des houppiers			Effet écran		Pas d'effet écran
Strate arbustive		absence strate arbustive			présence strate arbustive
Densité des arbustes			arbustes isolés		arbustes groupés ou alignés
Persistance du feuillage			feuillage persistant	mixte	feuillage caduc
Strate herbacée		absence strate herbacée			présence strate herbacée
Gestion de la strate herbacée			gestion herbacée intensive	gestion semi-intensive	gestion extensive
Humidité du sol		Absence de trace d'humidité du sol			Traces d'humidité temporaire du sol
Type de toit (cas de toits végétaux)			Toit extensif	Toit semi-intensif	Toit intensif
Point d'eau (cas de point d'eau)		Absence de point d'eau autour du bâtiment			Présence de point d'eau autour du bâtiment

Un effet toit ou un effet écran du feuillage ou des houppiers pourrait dégrader sensiblement la qualité de l'air, car ils empêchent la circulation de l'air et la dispersion des polluants sous la canopée.

Une composition floristique hétérogène diminue l'ampleur d'éventuelles émissions de COV par certaines espèces de végétaux. Cependant, lorsque la composition floristique est homogène, l'impact sur la qualité de l'air n'est pas nécessairement négatif, car les émissions de COV ne sont pas systématiques.

Dans le cas de toits végétaux, la végétation des toits intensifs, de par la diversité des types possibles, semble avoir l'impact le plus favorable sur la qualité de l'air.

Le Tableau 11 résume la manière dont l'impact de la végétation sur la qualité de l'air est évalué.

▪ *Empreinte carbone*

Quel que soit le type de végétation considéré, leur présence est toujours bénéfique pour l'empreinte carbone, grâce à la séquestration de carbone dans la biomasse.

Comme pour les fonctions précédentes, une augmentation de la densité des arbres et des arbustes augmente les quantités de carbone séquestré par les végétaux par unité de surface. Plus la dimension des arbres est importante, plus la quantité de biomasse produite par les végétaux est grande.

Le mode de gestion des arbres et arbustes peut être à l'origine d'exportations de carbone, notamment lorsque ceux-ci sont taillés. L'impact des tailles n'est cependant pas systématiquement négatif, car il dépend également de la valorisation des déchets de taille. En effet, si les déchets sont compostés, les apports de matière organique peuvent compenser ces exportations.

Concernant la gestion de la strate herbacée, une gestion intensive, par l'apport d'intrants (fertilisants et phytosanitaires) et les tontes fréquentes, peut avoir un impact très négatif sur l'empreinte carbone, alors que la gestion extensive n'engendre que peu d'émissions.

Dans le cas particulier des toits végétalisés, les toits intensifs ont un potentiel de séquestration de carbone plus important que les toits extensifs, du fait d'une production plus importante de biomasse (Oberndorfer et al., 2007). Ce type de toit a donc une influence plus favorable sur l'empreinte carbone.

Le Tableau 12 ci-contre résume les appréciations de la végétation pour l'empreinte carbone.

▪ *Consommation énergétique des bâtiments*

Pour la fonction consommation énergétique des bâtiments, les notations des modalités des critères de description de la végétation sont les mêmes que celles de la fonction climat urbain (cf. § « climat urbain »).

Pour les toits végétalisés, et de même que pour le climat urbain, les toits intensifs auraient l'impact le plus favorable sur la consommation énergétique des bâtiments, compte tenu de l'épaisseur importante de substrat, qui augmente l'effet isolant du toit végétalisé sur le bâtiment.

La présence d'un point d'eau autour des bâtiments est également favorable à la consommation énergétique en été, puisque l'évaporation de l'eau engendre une diminution de la température autour des bâtiments.

Tableau 13 synthétise les notations de la végétation pour cette fonction.

Tableau 14 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction hydrologie et la qualité des eaux pluviales

Critères\Notation des modalités des critères	-3	0	1	2	3
Strate arborée		absence d'une strate arborée			présence d'une strate arborée
Densité des arbres			arbres isolées		arbres groupées ou alignées
Persistance du feuillage			feuillage caduc	mixte	feuillage persistant
Dimensions des arbres			arbre de troisième grandeur	arbre de deuxième grandeur	arbre de première grandeur
Forme des arbres			Forme libre, port érigé	Forme architecturée	Forme libre, port non érigé
Strate arbustive		absence d'une strate arbustive			présence d'une strate arbustive
Densité des arbustes			arbustes isolées		arbustes groupées ou alignées
Persistance du feuillage			feuillage caduc	mixte	feuillage persistant
Strate herbacée		absence d'une strate herbacée			présence d'une strate herbacée
Gestion de la strate herbacée			gestion herbacée intensive	gestion semi-intensive	gestion extensive
Humidité du sol		Absence de trace d'humidité du sol			Traces d'humidité temporaire du sol
Type de toit (cas de toits végétaux)			Toit extensif	Toit semi-intensif	Toit intensif
Pente des toits (cas de toits végétaux)			Toit en pente		Toit non en pente
Présence ou absence de point d'eau (cas de point d'eau)		Absence d'eau permanente			Présence d'eau permanente
Perméabilité (cas de point d'eau)		point d'eau imperméable			point d'eau perméable
Association d'un impluvium (cas de point d'eau)		Point d'eau non associé à un impluvium			Point d'eau associé à un impluvium
Ensoleillement (cas de point d'eau)	point d'eau totalement ensoleillé		point d'eau fermé		point d'eau partiellement ouvert
Profondeur (cas de point d'eau)			point d'eau peu profond		point d'eau profond
Végétation hydrophyte ou macrophyte (cas de point d'eau)		absence de végétation macrophyte et/ou hydrophyte			présence de végétation macrophyte et/ou hydrophyte

■ *Hydrologie et qualité des eaux pluviales*

Les modalités des critères de description choisis pour caractériser l'impact de la végétation sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales sont globalement les mêmes que pour la qualité de l'air, car la surface foliaire est encore une fois un facteur déterminant. Une exception est faite pour le critère de forme des arbres. Lors d'une précipitation, les arbres à port non érigé peuvent intercepter plus d'eau de pluie que les arbres à port érigé, de même que pour le climat urbain les arbres à port non érigé interceptent plus de rayonnements solaires.

Dans le cas des toits végétaux, les toits intensifs ont une rétention en eau plus grande que les toits extensifs, du fait de l'épaisseur plus importante de substrat. Les toits pentus n'ont pas une rétention optimale et ne ralentissent pas le ruissellement aussi efficacement que les toits non pentus.

Dans le cas des points d'eau, la connexion à un impluvium et la perméabilité du point d'eau permettent l'évacuation, le stockage et l'infiltration des eaux pluviales. La présence de végétaux macrophytes permet une épuration de l'eau et évite les phénomènes d'eutrophisation. Un ensoleillement modéré et partiel du point d'eau et une profondeur importante contribuent également à diminuer les risques d'eutrophisation du point d'eau. Lorsque le point d'eau est totalement ensoleillé ou ouvert, la note attribuée à la modalité est négative.

Le Tableau 14 ci-contre résume la hiérarchisation des modalités de critères choisis pour caractériser l'impact de la végétation sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales.

■ *Ecologie*

Comme pour les fonctions précédentes, la présence de chaque type de végétation/strate est bénéfique pour les rôles écologiques de la végétation. L'hétérogénéité de la composition floristique de chaque strate est notée positivement pour les impacts écologiques de la végétation car, en plus de traduire une diversité des espèces végétales, elle permet ou traduit une diversité importante d'espèces animales, insectes et micro-organismes du sol.

Par commodité pour la suite de l'étude, le critère de densité de la végétation a été considéré pour la fonction écologie. En revanche, la bibliographie n'a pas permis de déterminer une hiérarchie entre les deux types de densité choisis (arbres/ arbustes « isolés » et « groupés ou alignés »). Sous réserve de trouver dans la bibliographie des indications permettant de hiérarchiser ces deux modalités, nous considérons qu'elles ont toutes deux le même niveau d'impact.

La gestion de la végétation peut être source de perturbations et gêner l'installation de certaines espèces aussi bien animales que végétales. La modalité « arbres ou arbustes taillés » et « gestion herbacées intensive » sont donc les moins favorables. Il aurait été possible d'évaluer ces modalités avec une note négative, mais les perturbations considérées n'engendrant pas la destruction de la végétation, nous pouvons considérer qu'une strate herbacée, même gérée intensivement, peut constituer un habitat pour une faune non sensible aux perturbations.

Dans le cas des toits végétalisés, la diversité des types de végétation rencontrée sur les toits végétaux intensifs est plus favorable à la biodiversité. La profondeur du substrat semble en effet déterminer la diversité de végétaux et d'insectes pouvant potentiellement s'y développer (Peck & Kuhn, 2001).

Dans le cas des points d'eau, la présence de zones humides est d'ores et déjà favorable aux services écologiques, la présence de végétation dans ces points d'eau (macrophytes et hydrophytes) est d'autant plus bénéfique.

Le Tableau 15 résume l'évaluation des impacts écologiques de la végétation.

Tableau 15 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction écologie

Critères\Notation des modalités des critères	-3	0	1	2	3
Strate arborée		absence strate arborée			présence strate arborée
Densité des arbres			Arbres isolés/groupés		
Composition floristique de la strate arborée			composition floristique arborée homogène		composition floristique arborée hétérogène
Mode de gestion des arbres			Arbres taillés		Arbres non taillés
Strate arbustive		absence strate arbustive			présence strate arbustive
Densité des arbustes			arbustes isolés/groupés		
Composition floristique de la strate arbustive			composition floristique arbustive homogène		composition floristique arbustive hétérogène
Mode de gestion des arbustes			Arbustes taillés		Arbustes non taillés
Strate herbacée		absence strate herbacée			présence strate herbacée
Gestion de la strate herbacée			gestion herbacée intensive	gestion semi-intensive	gestion extensive ou pas de gestion
Composition floristique de la strate herbacée			composition floristique herbacée homogène		composition floristique herbacée hétérogène
Bois morts et litière		absence de bois morts ou de litière			présence de bois mort ou de litière
Humidité temporaire		absence de traces d'humidité temporaire			traces d'humidité temporaire
Type de toit (cas de toits végétaux)			Toit extensif	Toit semi-intensif	Toit intensif
Présence ou absence de point d'eau (cas de point d'eau)		Absence d'eau permanente			Présence d'eau permanente
Végétation hydrophyte ou macrophyte (cas de point d'eau)		absence de végétation macrophyte et/ou hydrophyte			présence de végétation macrophyte et/ou hydrophyte

B. Test de la typologie fonctionnelle de la végétation urbaine

Pour évaluer la pertinence de la typologie de la végétation et caractériser les impacts de ces types de végétation sur les fonctions écosystémiques considérées, la typologie a été testée sur deux sites tests : le Parc Balzac, un grand parc urbain situé à Angers, et l'éco-quartier EVA-Lanxmeer, situé à Culemborg, aux Pays-Bas. Dans un premier temps, ces sites sont présentés, puis les relevés effectués sont analysés selon les objectifs auxquels doit répondre la typologie (cf. I.B) et des critères d'évaluation définis dans la partie méthodologie.

1. Présentation des sites choisis

a) Parc Balzac

Le parc Balzac est un parc de 50 ha situé en péricentre d'Angers. Il est aménagé sur les rives de la Maine, et est donc partiellement inondé lors des crues de la rivière. La végétation y est assez variée, car le parc regroupe à la fois des zones boisées, des pelouses, des prairies servant de pâturage et des zones humides. Ce parc est d'ailleurs un lieu d'observation des oiseaux (Service Parcs et Jardins d'Angers). Des jardins communautaires se trouvent dans la partie ouest du parc Balzac, mais ceux-ci n'ont pas été décrits dans le cadre du test de la typologie.

b) EVA-Lanxmeer

EVA-Lanxmeer est un éco-quartier de 24 ha, construit en 1994 à l'initiative des habitants. Il est situé en périphérie de Culemborg, une petite ville des Pays-Bas à proximité d'Utrecht. Les habitations sont organisées en îlots, au milieu desquels se trouve un jardin collectif. La gestion écologique des espaces verts publics et l'implication des habitants dans l'aménagement et la gestion des jardins collectifs donnent lieu à une certaine diversité de types de végétation. Une partie de l'éco-quartier seulement a été décrite pour tester la typologie, comprenant une importante surface d'espaces verts publics et trois jardins collectifs.

2. Définition préalable des objets d'observation

Pour réaliser une cartographie des types de végétation, il a d'abord fallu déterminer quels critères de la typologie pouvaient permettre de distinguer et délimiter spatialement les types de végétation les uns par rapport aux autres pour en faire des objets d'observation. Les caractéristiques choisies sont :

- Le type de strate : arborée, arbustive et herbacée,
- La densité de végétation, c'est-à-dire le caractère « groupé » ou « isolé » des végétaux, en ce qui concerne les strates arborée et arbustive,
- Le type de gestion, en ce qui concerne la strate herbacée (extensive, semi-intensive, intensive).

Les relevés ont donc été réalisés sur 7 groupes de végétation (Cf. Annexe 3 pour la définition des critères):

- Les arbres groupés
- Les arbres isolés
- Les arbustes groupés
- Les arbustes isolés
- Les espaces enherbés en gestion extensive
- Les espaces enherbés en gestion semi-intensive
- Les espaces enherbés en gestion intensive

Les relevés ont été réalisés à partir de la fiche de relevé qui figure en Annexe 7.

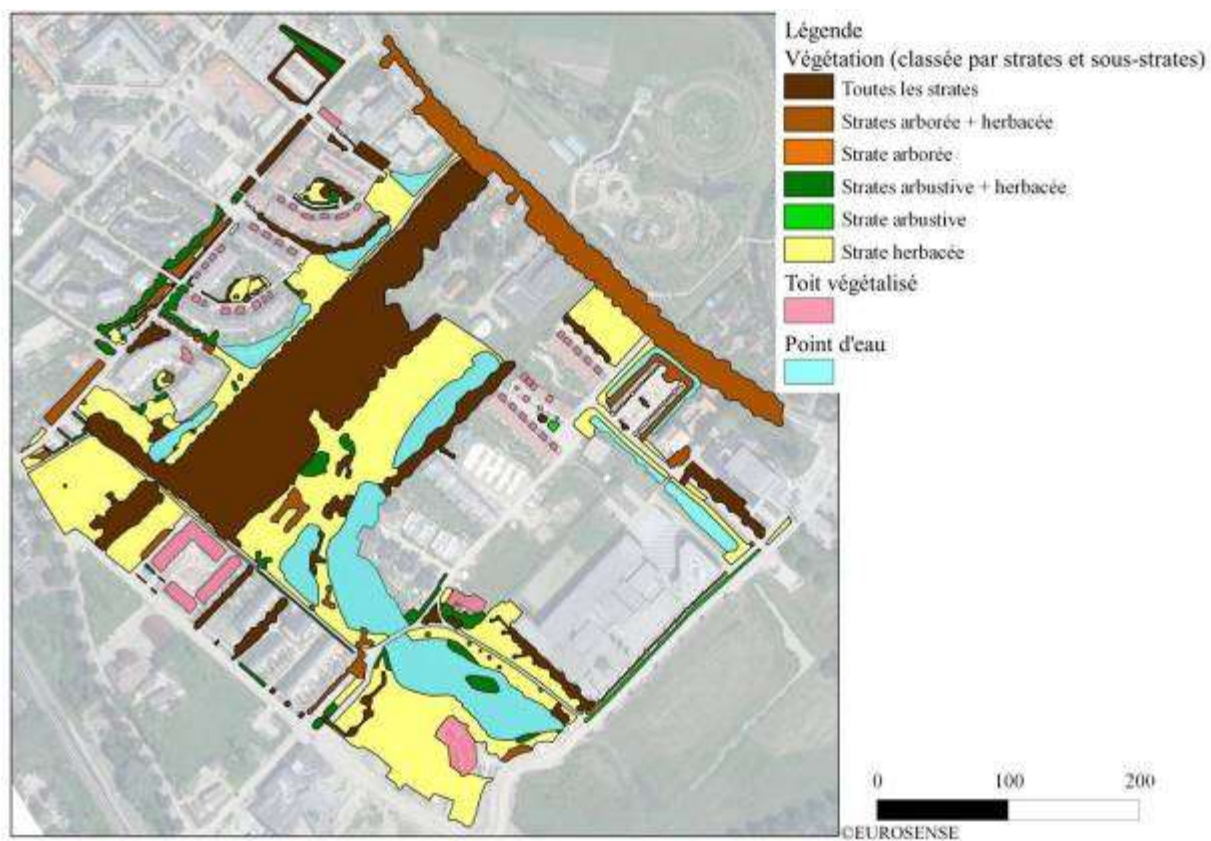


Figure 2 : Classement des types de végétation du site EVA-Lanxmeer par strates et sous-strates

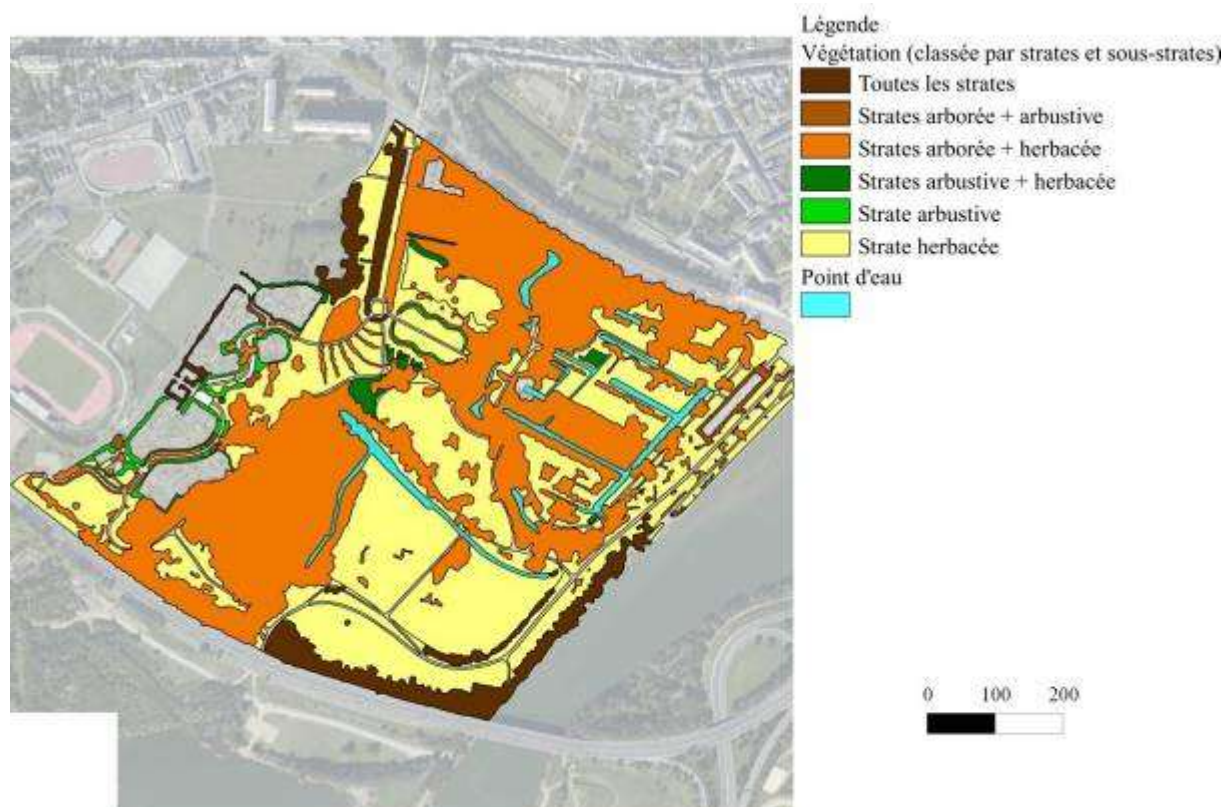


Figure 3 : Classement des types de végétation du parc Balzac par strates et sous-strates

3. Résultats des relevés-test

La typologie fonctionnelle de la végétation urbaine devait permettre, dans le cadre du volet TYPO :

- Décrire la végétation par rapport à des caractéristiques influençant ses impacts écosystémiques et faire émerger des types de végétation ayant des caractéristiques différentes.
- Hiérarchiser ces types de végétation par rapport à leurs fonctions écosystémiques potentielles.
- Mettre en évidence des configurations végétales remarquables, c'est-à-dire des types de végétation ayant un impact favorable pour toutes ou plusieurs fonctions écosystémiques.

Nous proposons donc d'évaluer les potentialités de la typologie présentée précédemment par rapport à ces objectifs.

a) Caractérisation des types fonctionnelles de végétation

Les sites test ont été choisis pour la diversité supposée de types de végétation qu'ils abritent. Les critères choisis pour décrire la végétation ont permis de faire ressortir une importante diversité de types de végétation distincts. En effet, dans les deux sites confondus, 125 types de végétation ont été distingués, dont une majorité avec une strate arborée dominante.

A EVA-Lanxmeer, 70 types de végétation différents ont été recensés, pour une surface totale de 8 ha environ. Au parc Balzac, 61 types distincts ont été trouvés sur une surface de 46 ha. Par unité de surface, une diversité plus importante de types de végétation a été observée à EVA-Lanxmeer. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les types de végétation du parc Balzac occupent chacun une superficie plus importante (en moyenne environ 4000 m²) que les types de végétation d'EVA-Lanxmeer (600 m² en moyenne). Certains types de végétation étaient parfois communs aux deux sites.

Etant donné le nombre important de critères utilisés pour décrire la végétation (20), il semble plus aisé de regrouper les types de végétation par grandes classes. Les critères choisis pour classer ces types de végétation sont les critères décrivant la superposition des strates des configurations végétales. La Figure 4 montre pour chaque site et chaque classe de végétation, les proportions de types fonctionnels de végétation décrits. Les Figure 2 et Figure 3 montrent la répartition spatiale des types de végétation classés par strates et sous-strates, pour EVA-Lanxmeer et le Parc Balzac.

Des exemples de types de végétation par strates et sous-strates sont décrits en Annexe 8.

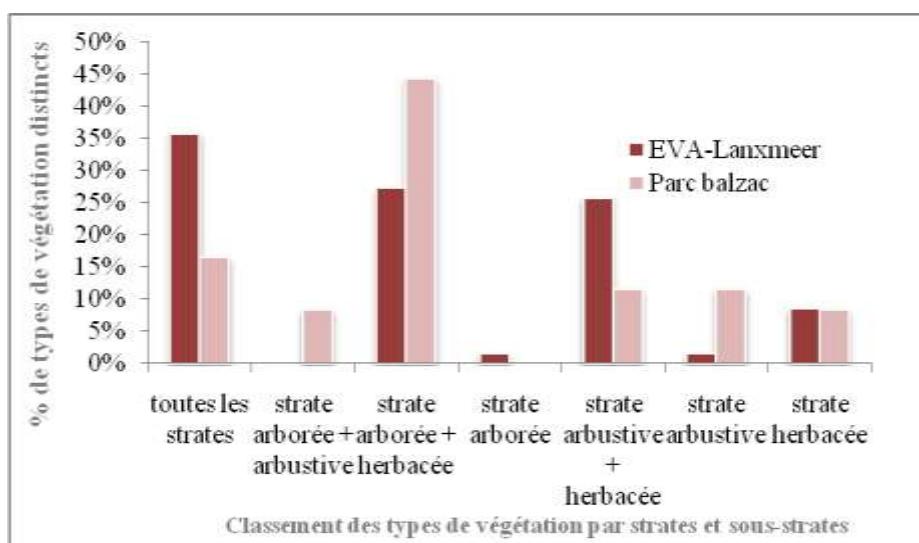


Figure 4 : Répartition des types fonctionnels de végétation pour chacun des sites selon un classement de la végétation par strates et sous-strates

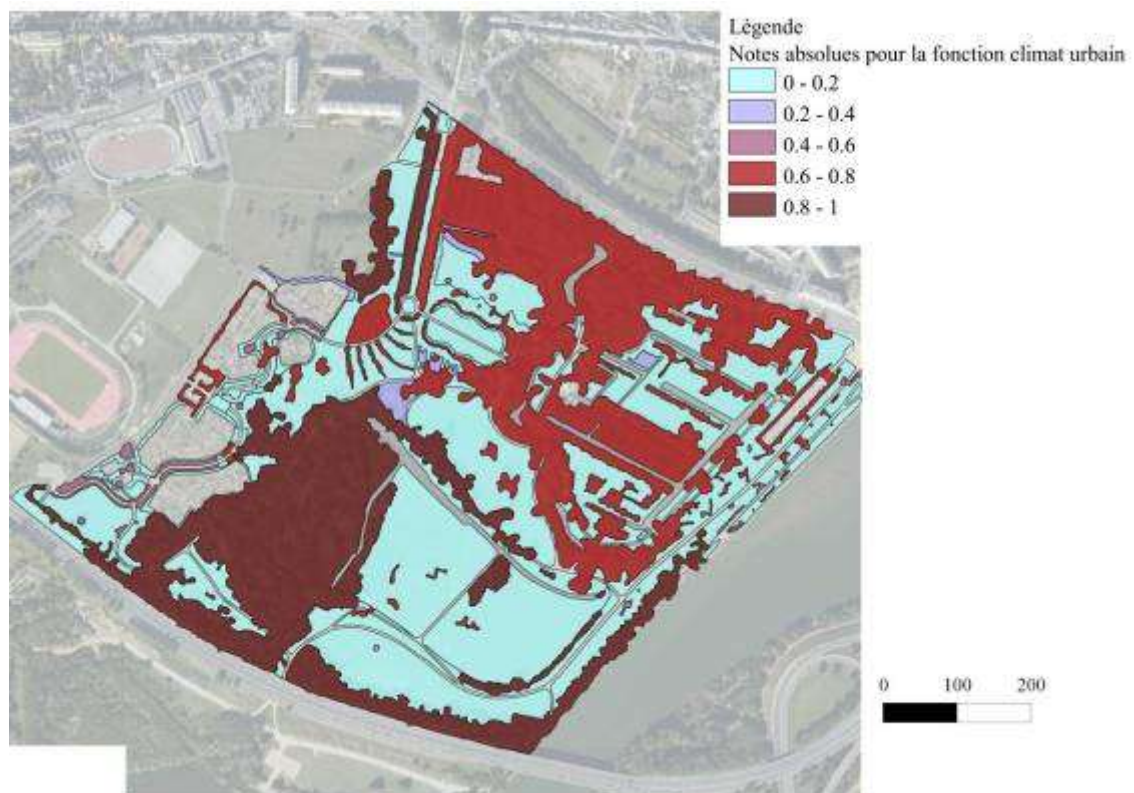


Figure 5 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur le climat urbain (notes absolues)

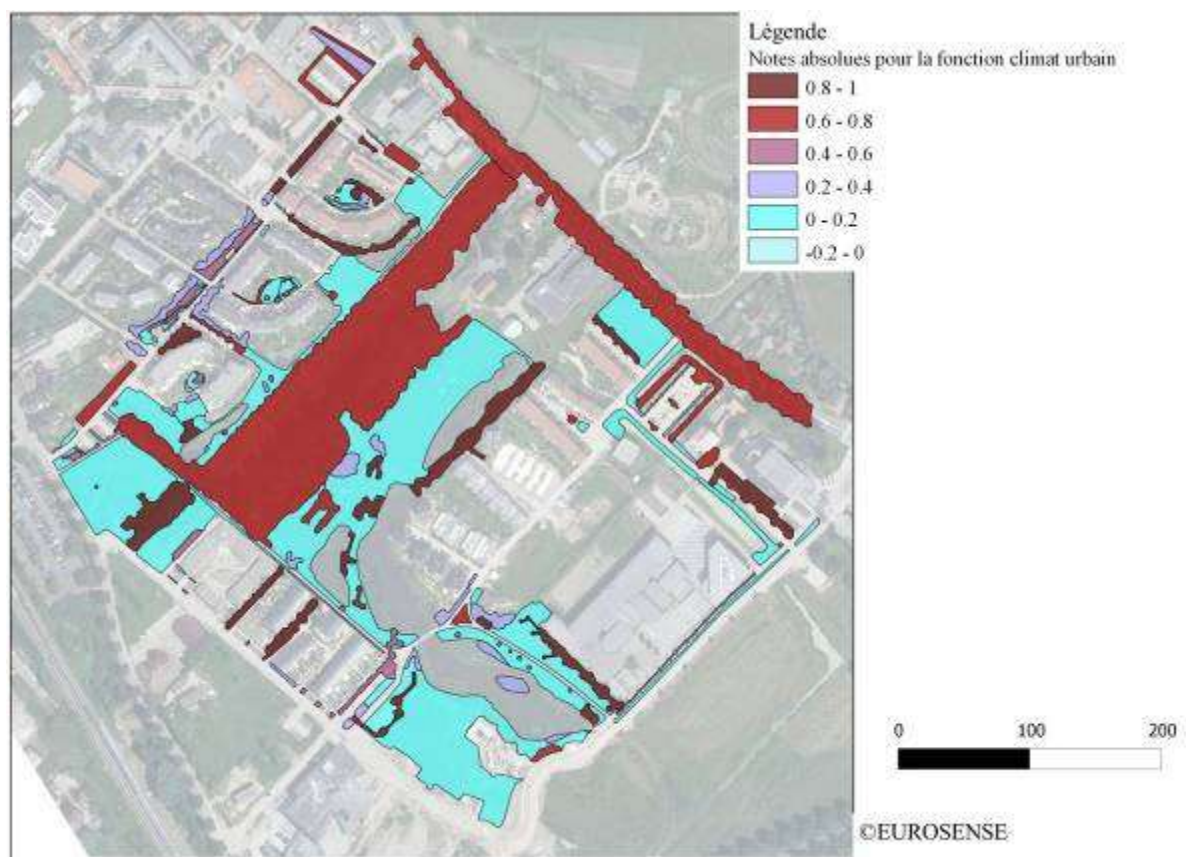


Figure 6 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur le climat urbain (notes absolues)

Au parc Balzac, une forte proportion des types de végétation décrits a une strate arborée dominante et une sous-strate herbacée importante (44%), alors qu' à EVA-Lanxmeer, ce sont les types de végétation à dominante arborée et sous-strates arbustive et herbacée qui sont présents en plus grande proportion (36%).

La typologie n'a pu être testée sur des toits végétalisés qu'à EVA-Lanxmeer, mais, ici, il n'y avait que 3 types de toits distincts, dont deux types de toits extensifs, avec pente et sans pente (Figure 2). Deux types distincts de points d'eau ont été trouvés au Parc Balzac et trois à EVA-Lanxmeer (Figure 2 et Figure 3).

La typologie permet donc de faire ressortir une diversité importante de types fonctionnels de végétation. En revanche, cette diversité semble beaucoup plus limitée pour les toits végétalisés et les points d'eau permanente, mais ceci peut être lié aux sites choisis.

b) Hiérarchisation des types de végétation par rapport à leurs impacts écosystémiques potentiels

Un système de notation a été construit pour évaluer le niveau d'impact de la végétation sur les fonctions écosystémiques considérées (cf. § IV.A.2.). Les tests ont montré qu'une fois combinées ensemble pour évaluer les configurations végétales, les pondérations et les notes attribuées individuellement à chaque critère de description permettent une analyse comparative des types de végétation décrits dans chaque site-test et pour chaque fonction.

Compte tenu de la diversité des types fonctionnels décrits et du nombre important de critères de description de la végétation, les impacts de la végétation sur les fonctions écosystémiques sont d'abord présentés selon un classement de la végétation par strates et sous-strates. L'analyse de ces impacts permet ensuite de déterminer la contribution des autres critères de description de la végétation pour chaque fonction.

■ Climat urbain

La Figure 7 présente les notes moyennes absolues (non pondérées par la surface) des types de végétation décrits dans chacun des sites pour la fonction climat urbain. Les Figure 5 et Figure 6 montrent la répartition spatiale de ces impacts pour le parc Balzac et EVA-Lanxmeer.

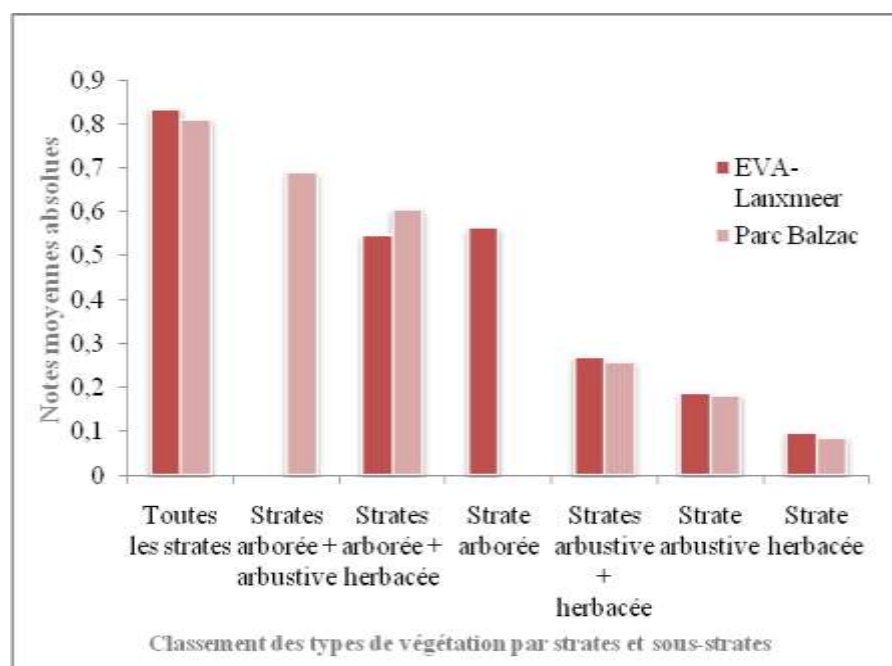


Figure 7 : Impacts sur le climat urbain des types de végétation classés par strates et sous-strates

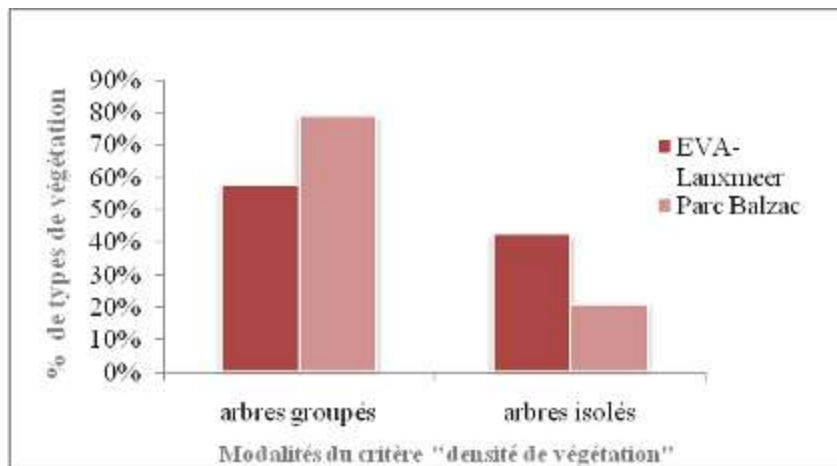


Figure 8 : Proportions de types de végétation constitués d'une strate arborée et herbacée pour chaque modalité du critère "densité de la végétation"

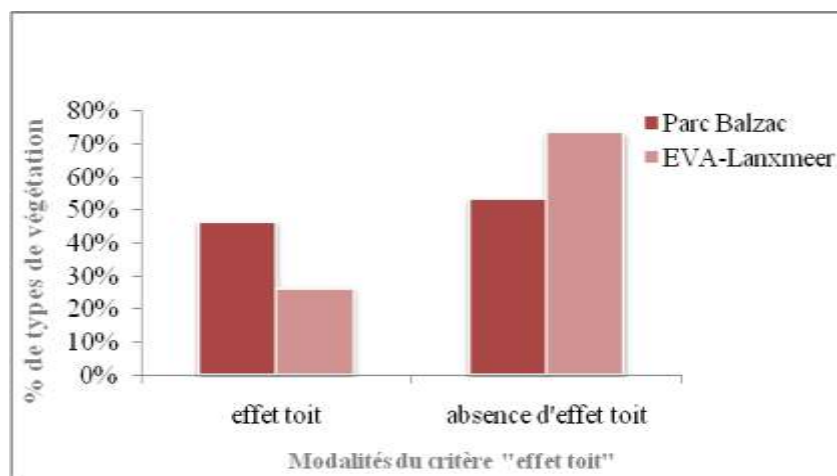


Figure 9 : Proportions de types de végétation constitués d'une strate arborée et herbacée pour chaque modalité du critère "effet toit"

On constate que les notes décroissent à mesure que le nombre de strates diminue et à mesure que la strate arbustive puis la strate herbacée deviennent dominantes. Cette gradation a été influencée par les coefficients attribués aux critères respectifs de chaque strate, la strate arborée ayant la plus forte pondération et la strate herbacée la plus faible.

Cependant un élément ne va pourtant pas dans le sens de cette pondération : pour le parc Balzac, l'impact des types de végétation constitués uniquement d'une strate arborée est plus élevé que ceux constitués d'une strate arborée et d'une strate herbacée. D'après le système de notation, la strate arborée et sa sous-strate herbacée devraient avoir un impact supérieur à la strate arborée seule. Pour les types constitués de la strate arborée et d'une strate herbacée, il y a 33 types de végétation décrits, parmi lesquelles la note pour le climat urbain varie de 0,39 à 0,78. La grande variabilité trouvée dans les impacts pourrait être à l'origine de cet écart. De plus, pour la strate arborée seule, il n'y a en réalité qu'un seul type décrit. Ce type de végétation (strate arborée seule) étant peu représenté par rapport au type ayant une strate arborée et une strate herbacée, l'écart de leurs impacts respectifs est sans doute peu pertinent.

Globalement, les notes d'EVA-Lanxmeer sont égales ou légèrement supérieures à celle du parc Balzac, à l'exception des types de végétation composés d'une strate arborée et d'une strate herbacée. En analysant plus précisément les caractéristiques de ce type de végétation pour chaque site, il semble que les critères « densité des arbres » et « effet toit des arbres » aient contribué à cet écart. Une densité forte et un effet toit sont tous les deux bénéfiques pour le climat urbain. Dans le cas du parc Balzac, les arbres groupés sont présents en majorité (79%), alors qu'il y a environ autant d'arbres groupés et d'arbres isolés à EVA-Lanxmeer (cf. Figure 8). A EVA-Lanxmeer, une majorité des types de végétation ne produisent pas d'effet toit alors qu'il y en a moins au parc Balzac (cf. Figure 9). Les autres caractéristiques sont relativement équivalentes pour les deux sites, sauf pour la gestion de la strate herbacée, mais ce critère n'est que faiblement pondéré et a donc peu d'impact sur la note finale.

■ *Qualité de l'air*

La Figure 10 ci-dessous montre que les impacts de la végétation sur la qualité de l'air suivent la même tendance que les impacts sur le climat urbain : il y a une décroissance lorsque le nombre de strates diminue et lorsque l'on passe d'une strate arborée à une strate herbacée dominante.

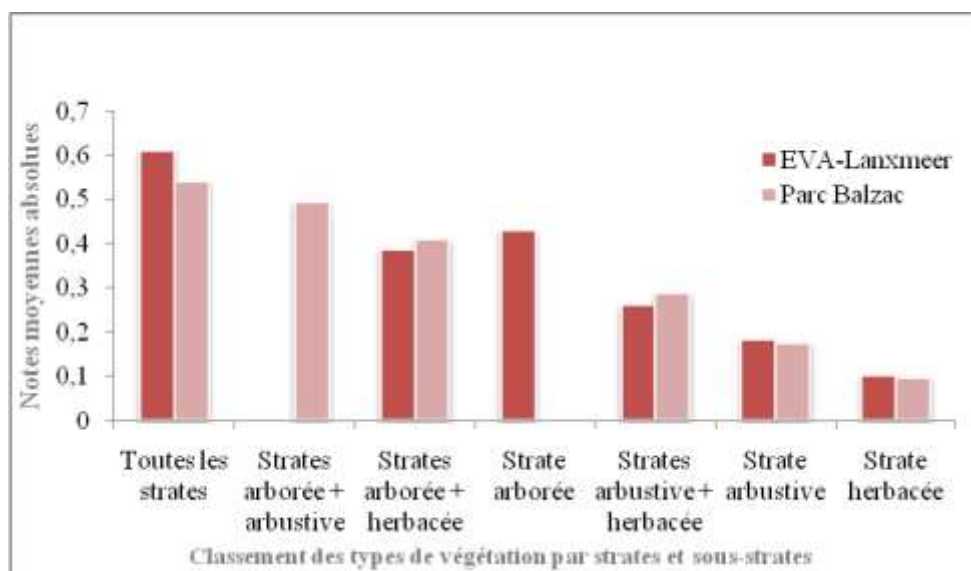


Figure 10 : Impacts sur la qualité de l'air des types de végétation classés par strates et sous-strates

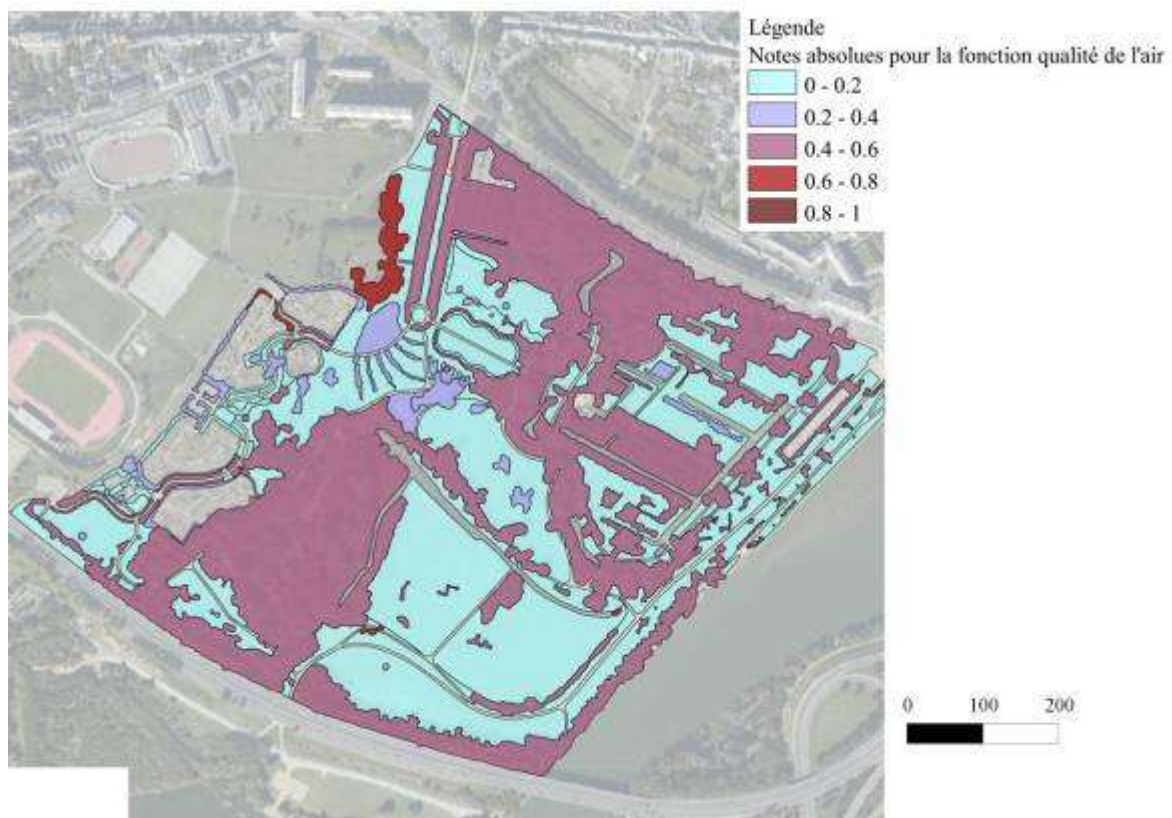


Figure 11 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur la qualité de l'air (notes absolues)

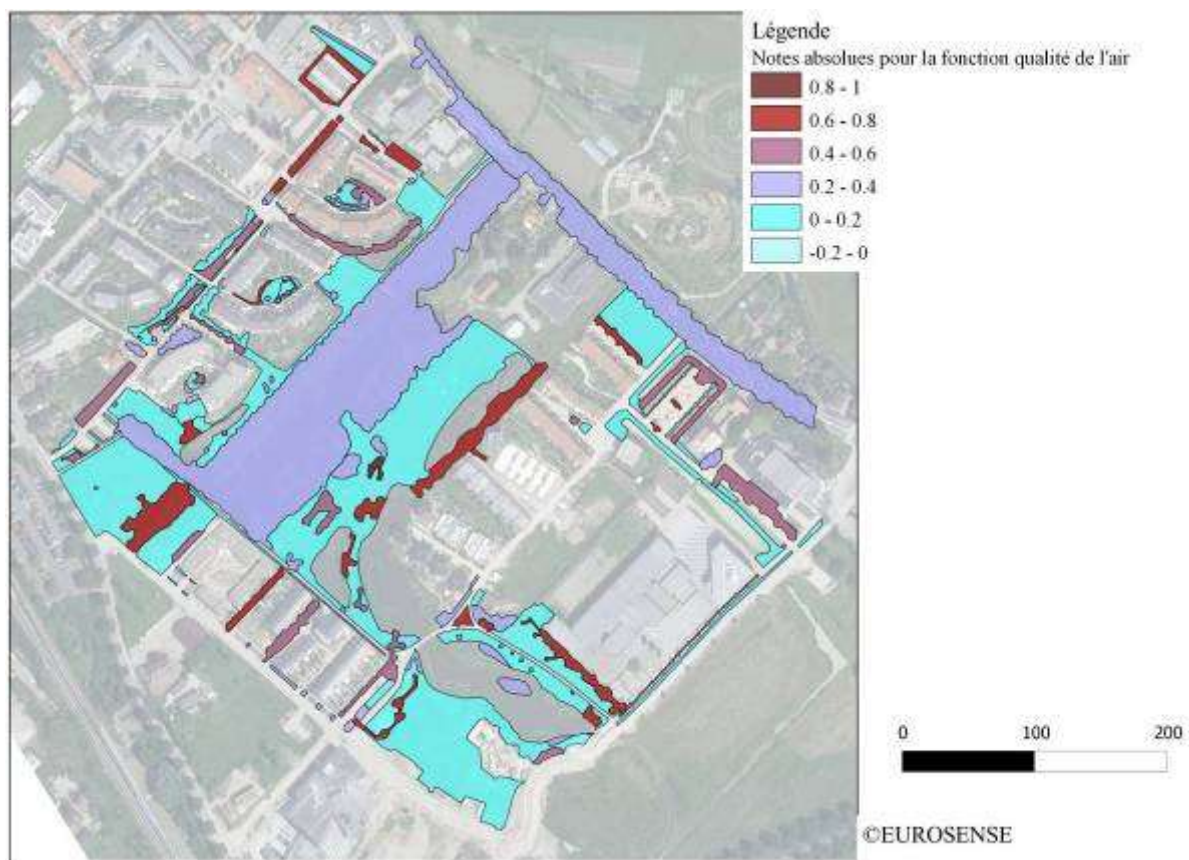


Figure 12 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur la qualité de l'air (notes absolues)

Les fFigure 11 etFigure 12 montrent la répartition spatiale de ces impacts sur les deux sites. Les impacts respectifs d'EVA-Lanxmeer et du parc Balzac sont relativement similaires, cependant il y a une variation notable (0,07) pour les types de végétation composés de toutes les strates (cf. Figure 10), où les impacts pour EVA-Lanxmeer sont supérieurs à ceux du parc Balzac. En analysant les caractéristiques de ce type de végétation, on constate que les critères « effet toit des arbres » et « effet écran des arbres » semblent avoir une contribution dans cet écart. La Figure 13 montre que, au parc Balzac, une majorité de ces types de végétation a un effet toit, source de dégradation de la qualité de l'air. D'une manière moins marquée, il y a plus d'arbres qui ont un effet écran au parc Balzac qu'à EVA-Lanxmeer (cf. Figure 14). Cependant, une grande proportion des arbres dans les deux sites n'a pas d'effet écran. Le critère « effet écran des arbustes » montre des proportions équivalentes.

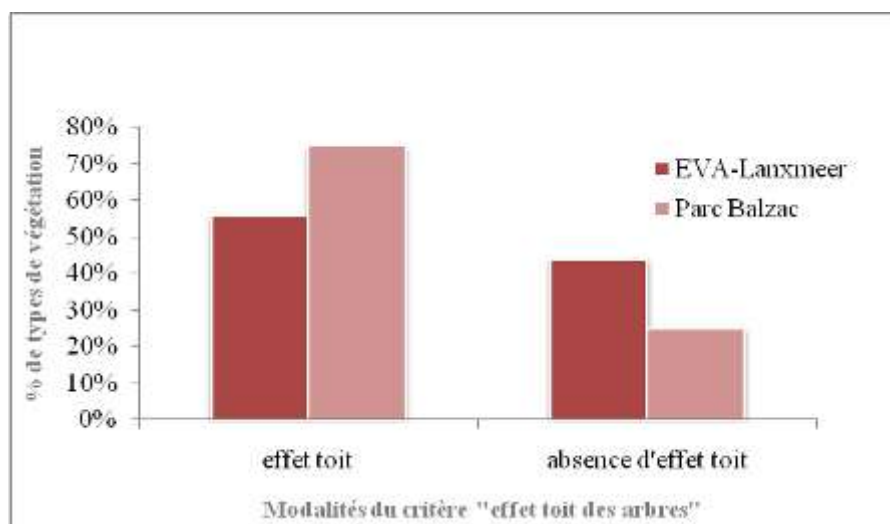


Figure 13 : Proportions de types de végétation constitués de toutes les strates pour chaque modalité du critère "effet toit des arbres"

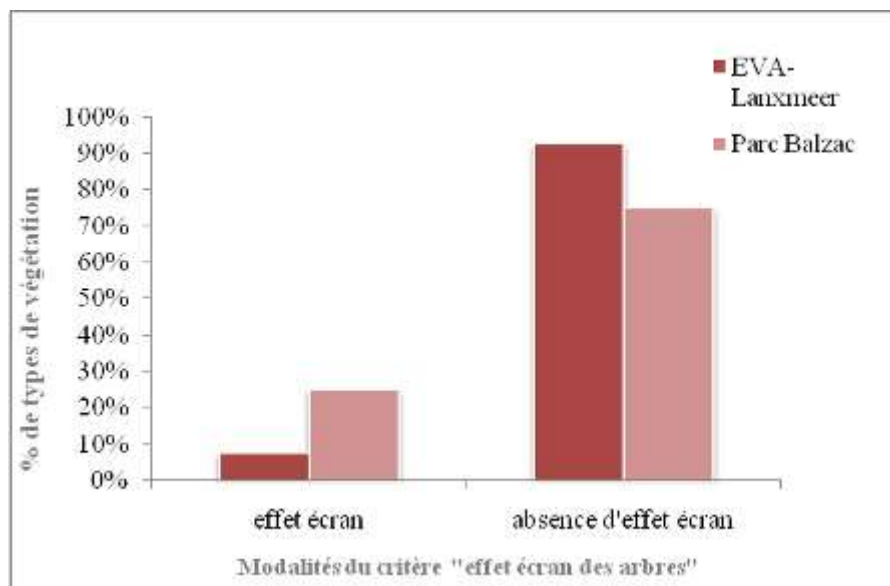


Figure 14 : Proportions de types de végétation constitués de toutes les strates pour chaque modalité du critère "effet écran des arbres"

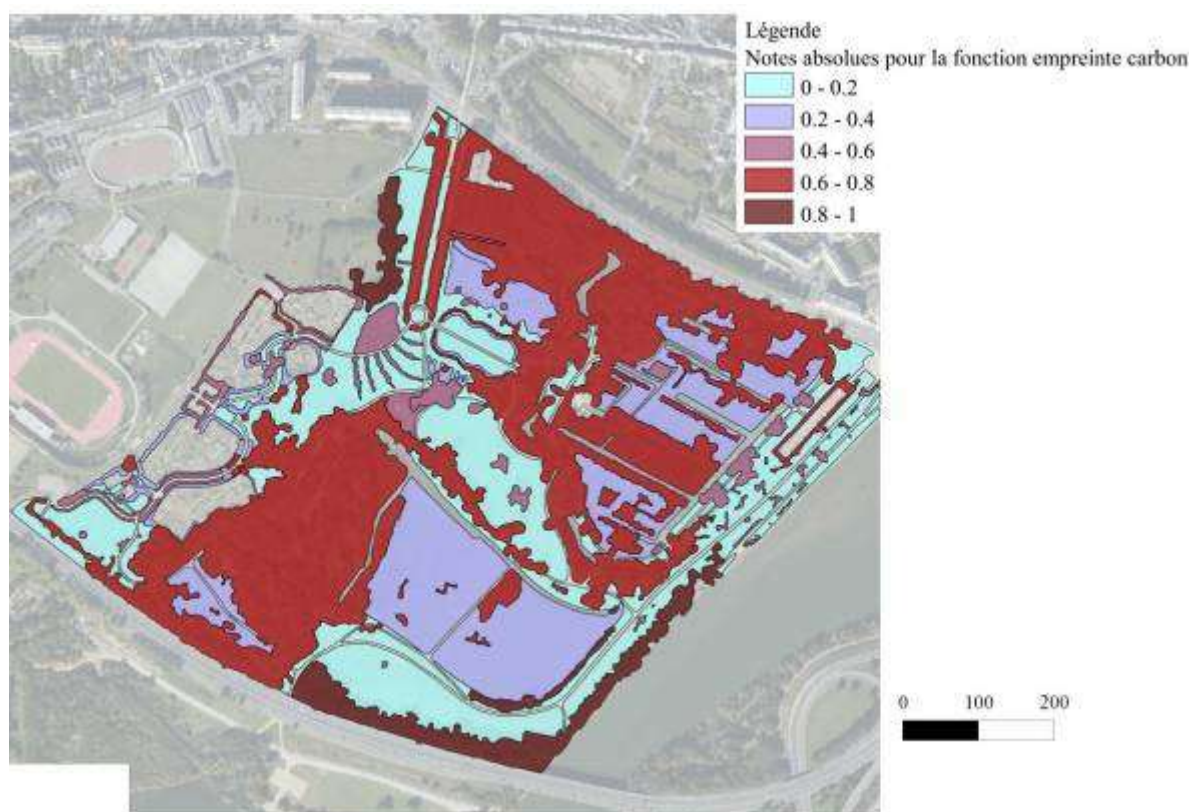


Figure 15 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur l'empreinte carbone (notes absolues)

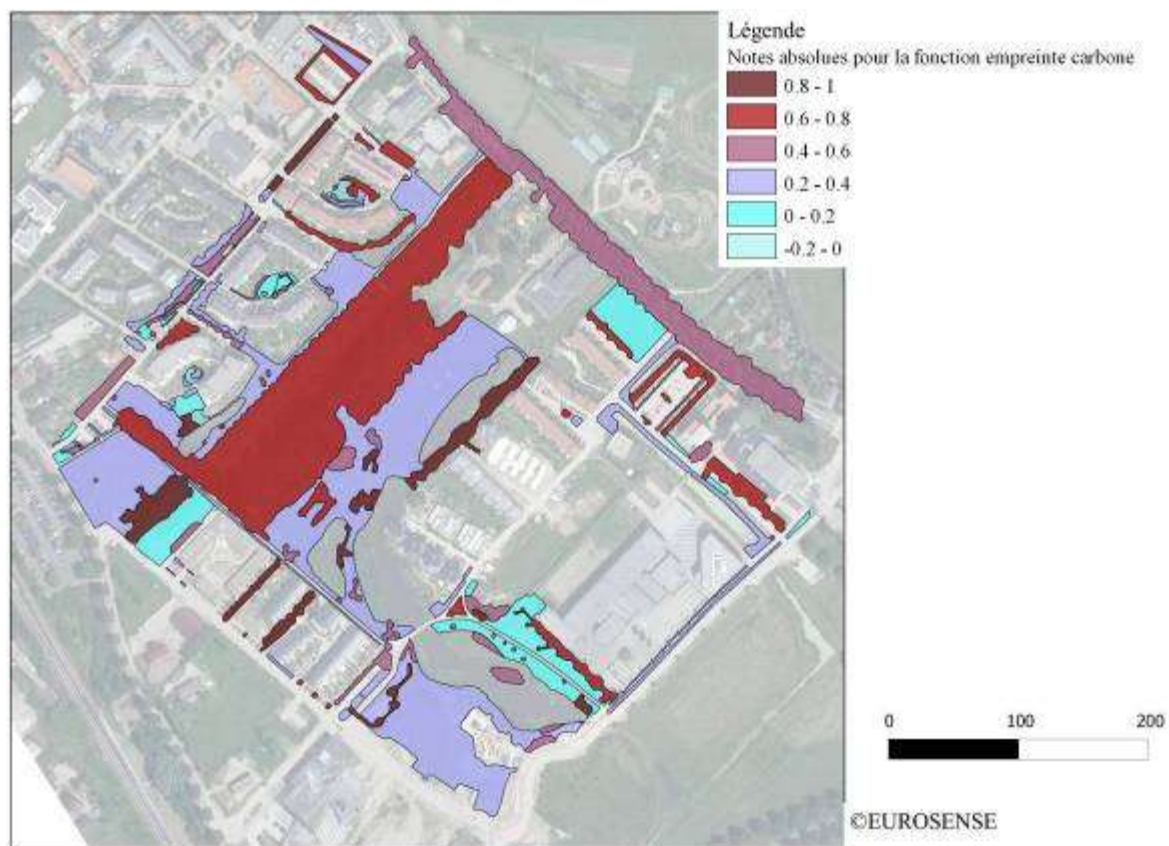


Figure 16 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur l'empreinte carbone (notes absolues)

▪ Empreinte carbone

Les impacts de la végétation sur l’empreinte carbone suivent la même tendance que pour les fonctions précédentes (cf. Figure 17). La répartition spatiale de ces impacts est illustrée pour chacun des sites en Figure 15 et Figure 16.

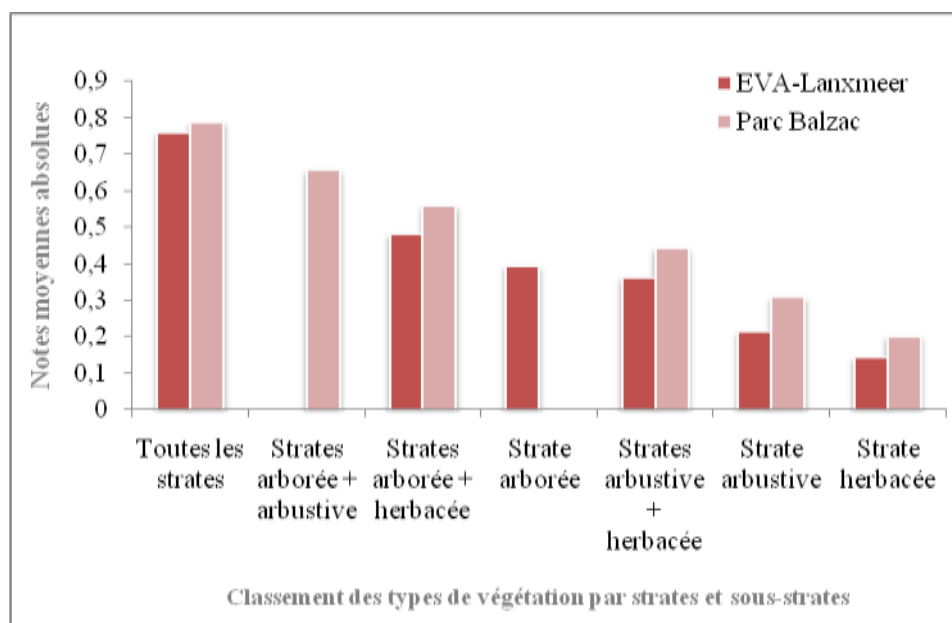


Figure 17 : Impacts sur l’empreinte carbone des types de végétation classés par strates et sous-strates

Pour la fonction empreinte carbone, c’est la végétation du parc Balzac qui a un impact supérieur à celle d’EVA-Lanxmeer (cf. Figure 17). Pour la strate herbacée en particulier, cette observation ne correspond pas tout-à-fait à ce qui était pressenti. En effet, la majorité des types de végétation à dominante herbacée recensée à EVA-Lanxmeer sont gérées extensivement (64%), alors qu’au parc Balzac ce type de végétation est plutôt géré de manière semi-intensive (69%) (cf. Figure 18). Il semble y avoir deux explications à ces notes moyennes. D’une part, la présence de bois mort et de litière, permettant la séquestration du carbone dans le sol, n’a été relevée pour aucun type de végétation à dominante herbacée à EVA-Lanxmeer, alors qu’elle a été relevée pour 69% de ce type de végétation au Parc Balzac (cf. Figure 19). Cette observation ne semble pas logique car, pour une strate herbacée gérée extensivement, on s’attend à relever la présence de litière. Ceci souligne certainement un manque de précision dans la définition de ce critère, qui se traduit par une confusion lors des relevés. D’autre part, à EVA-Lanxmeer, la note minimale que l’on peut trouver pour l’impact sur l’empreinte carbone est négative (-0.07), car certaines pelouses semblent être gérées de manière intensive. La présence d’une note négative a également pu faire varier significativement la note moyenne de ce type de végétation.

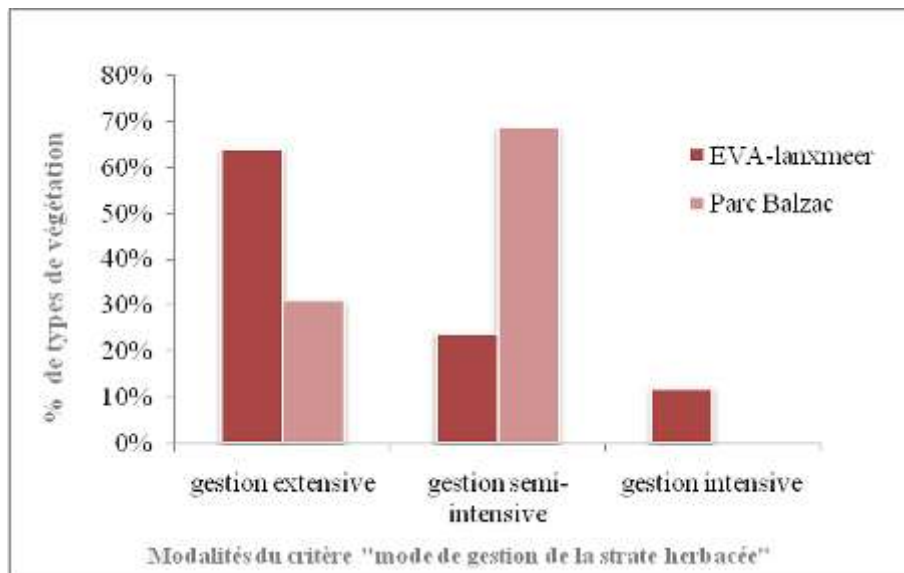


Figure 18 : Proportions de types de végétation à dominante herbacée pour chaque modalité du critère "mode de gestion de la strate herbacée"

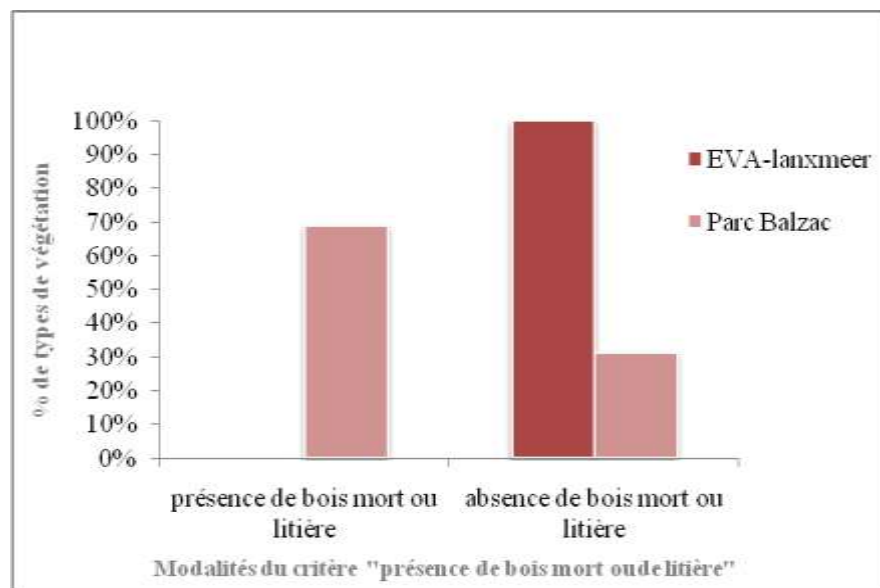


Figure 19 : Proportions de types de végétation à dominante herbacée pour chaque modalité du critère "présence de bois mort ou de litière"

■ Consommation énergétique des bâtiments

Les impacts de la végétation sur la consommation énergétique des bâtiments ont été calculés seulement pour EVA-Lanxmeer, car il n'y avait pas de bâtiments dans le parc Balzac. Les tendances observées pour chaque classe de strates et sous-strates sont les mêmes que les fonctions climat urbain, qualité de l'air, empreinte carbone et hydrologie et qualité des eaux pluviales (cf. Figure 20). La répartition spatiale des impacts pour cette fonction est globalement la même que celle de la fonction climat urbain (Figure 21).

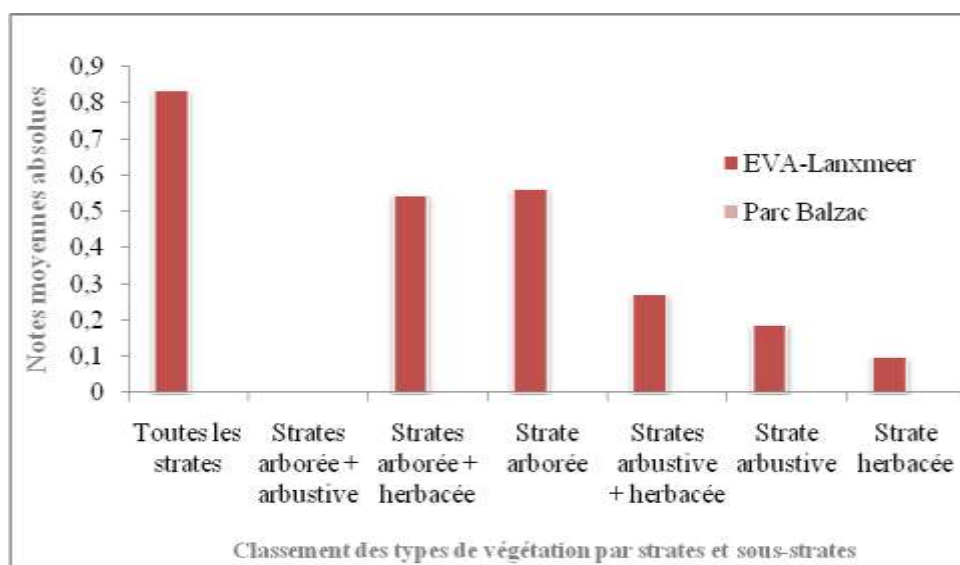


Figure 20 : Impacts sur la consommation énergétique des bâtiments des types de végétation classés par strates et sous-strates

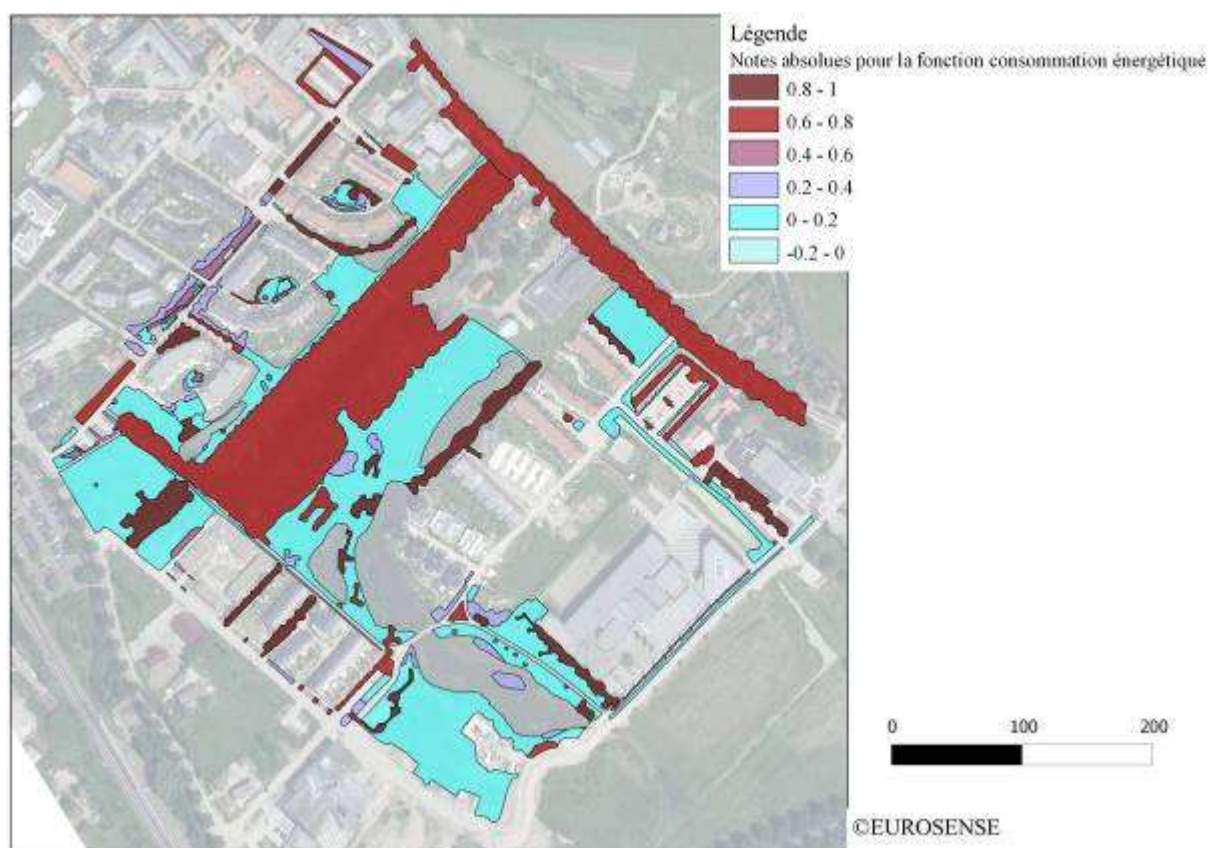


Figure 21 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur la consommation énergétique des bâtiments (notes absolues)

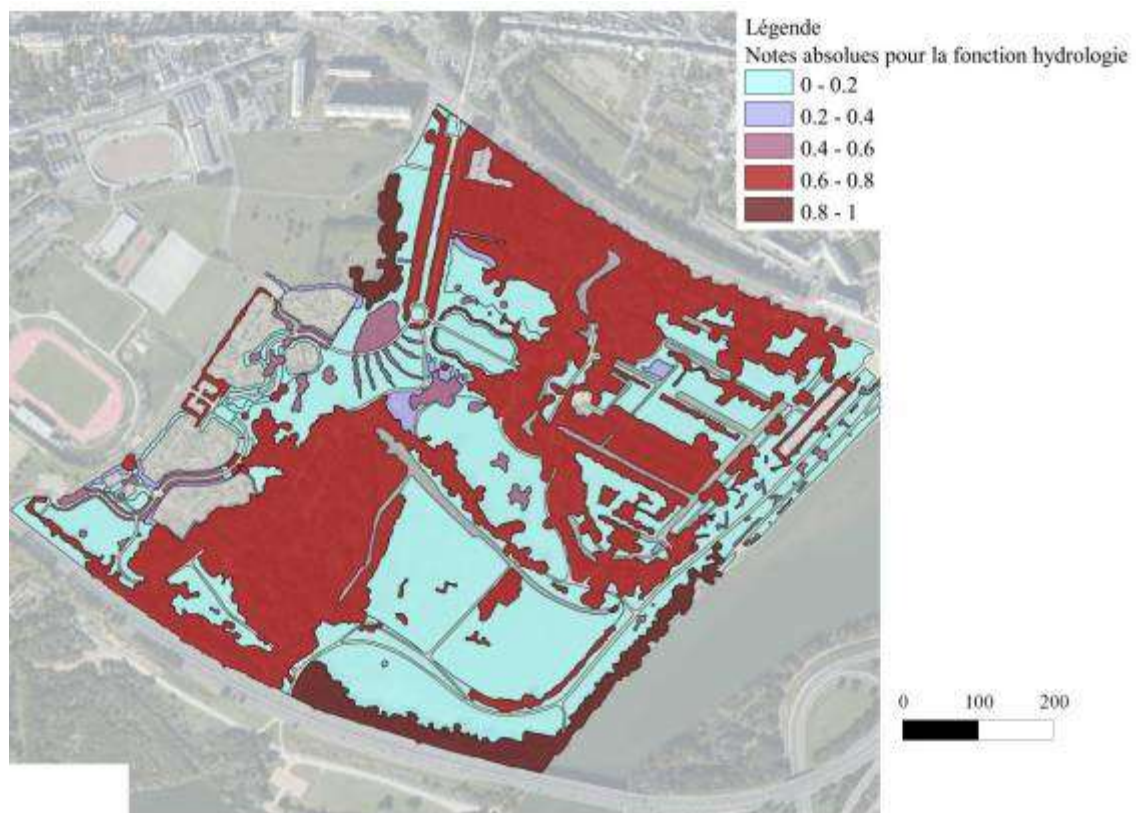


Figure 22 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales (notes absolues)

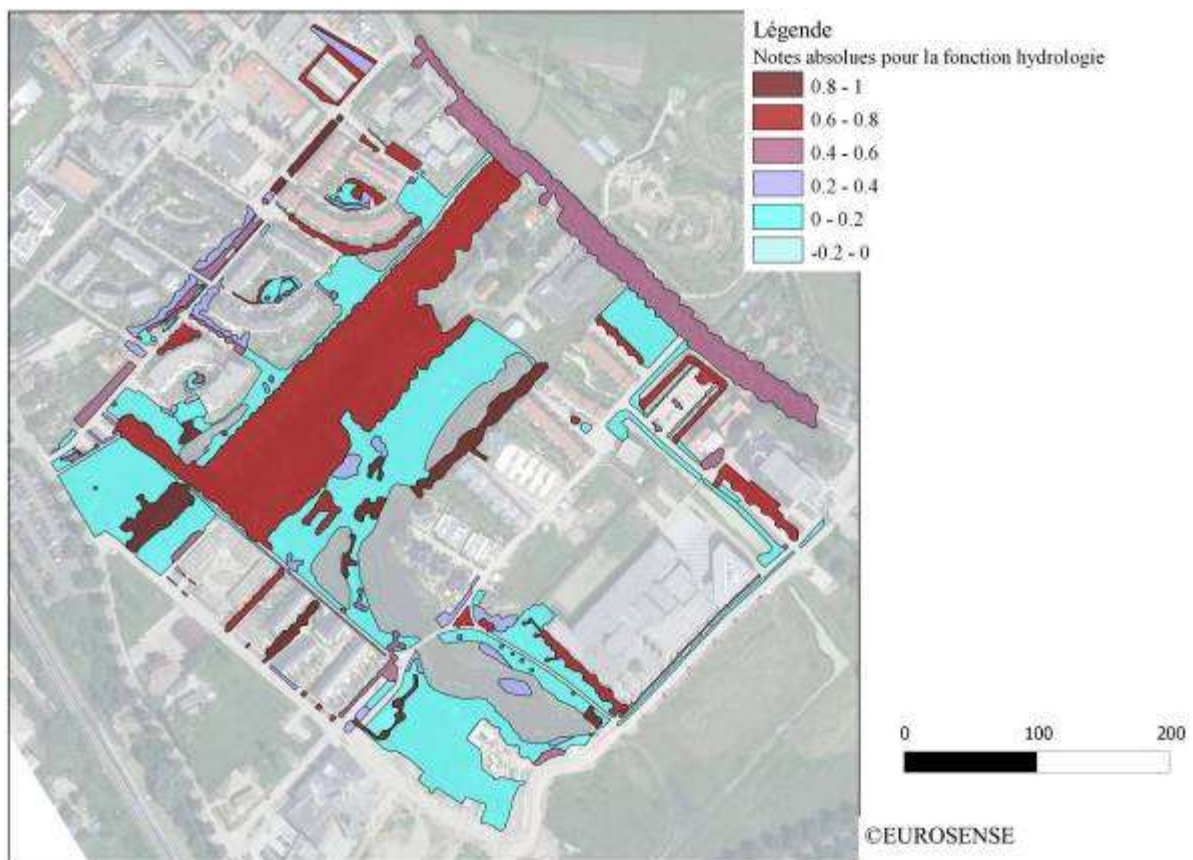


Figure 23 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales (notes absolues)

- *Hydrologie et qualité des eaux pluviales*

Les impacts de la végétation sur la fonction hydrologie et qualité des eaux pluviales suit la même tendance que les fonctions précédentes et les écarts sont très faibles entre les deux sites (cf. Figure 24). La répartition spatiale des impacts de la végétation sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales est illustrée et représentée en Figure 22 et Figure 23 pour les deux sites.

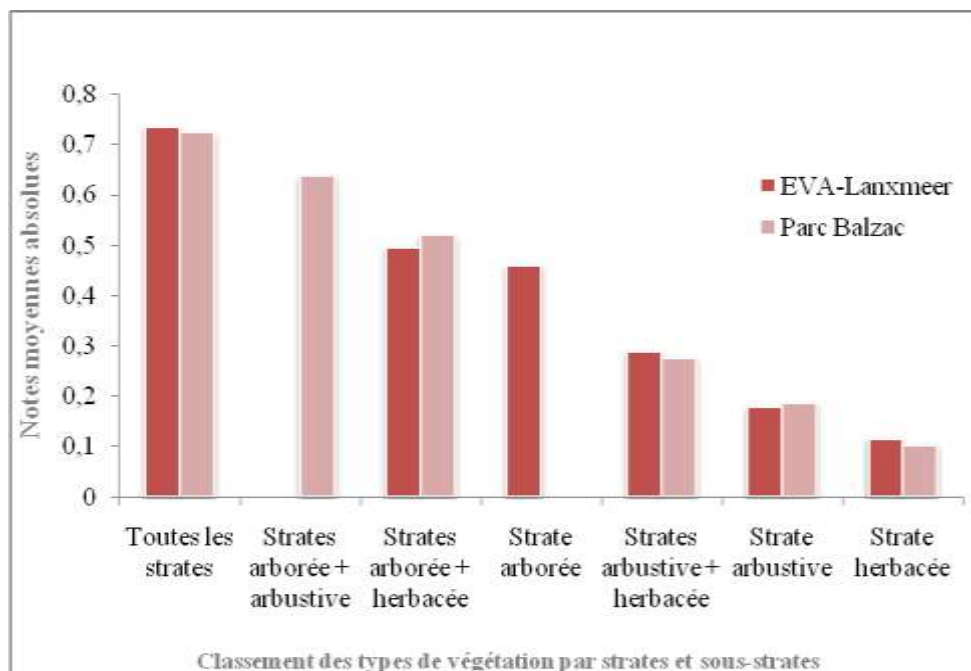


Figure 24 : Impacts sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales des types de végétation classés par strates et sous-strates

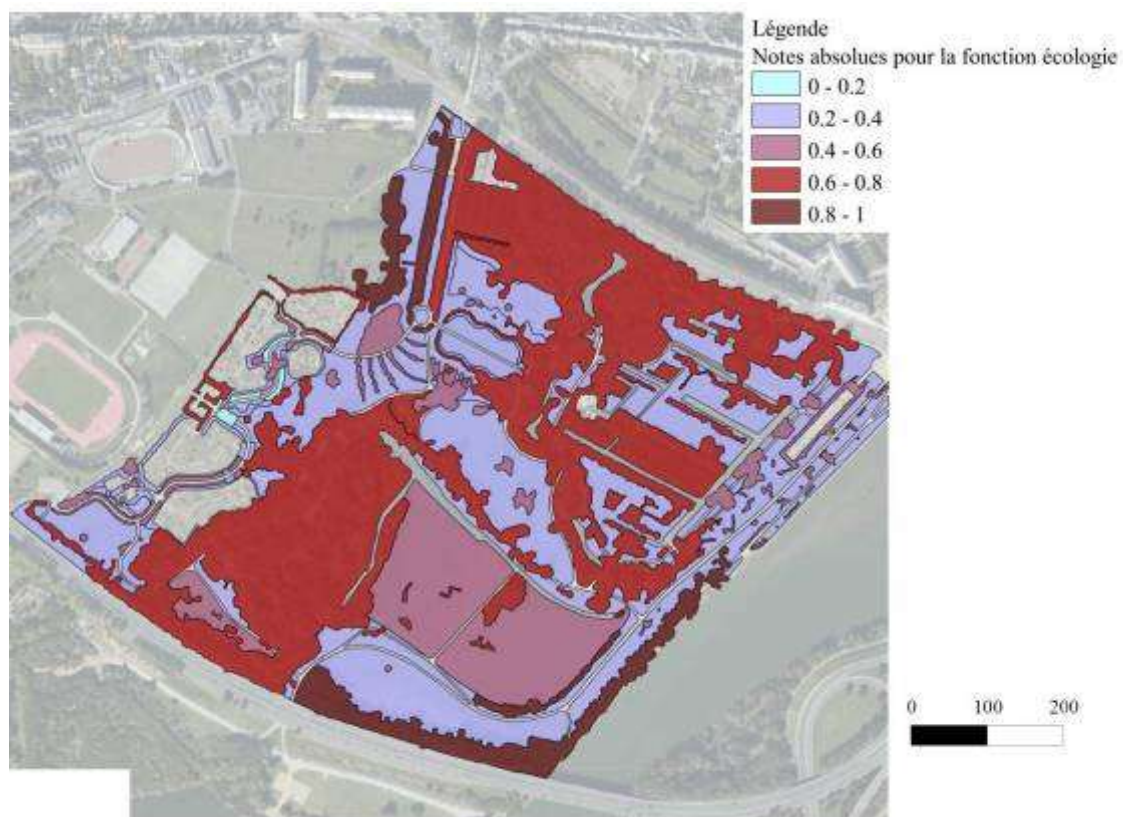


Figure 25 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur l'écologie (notes absolues)

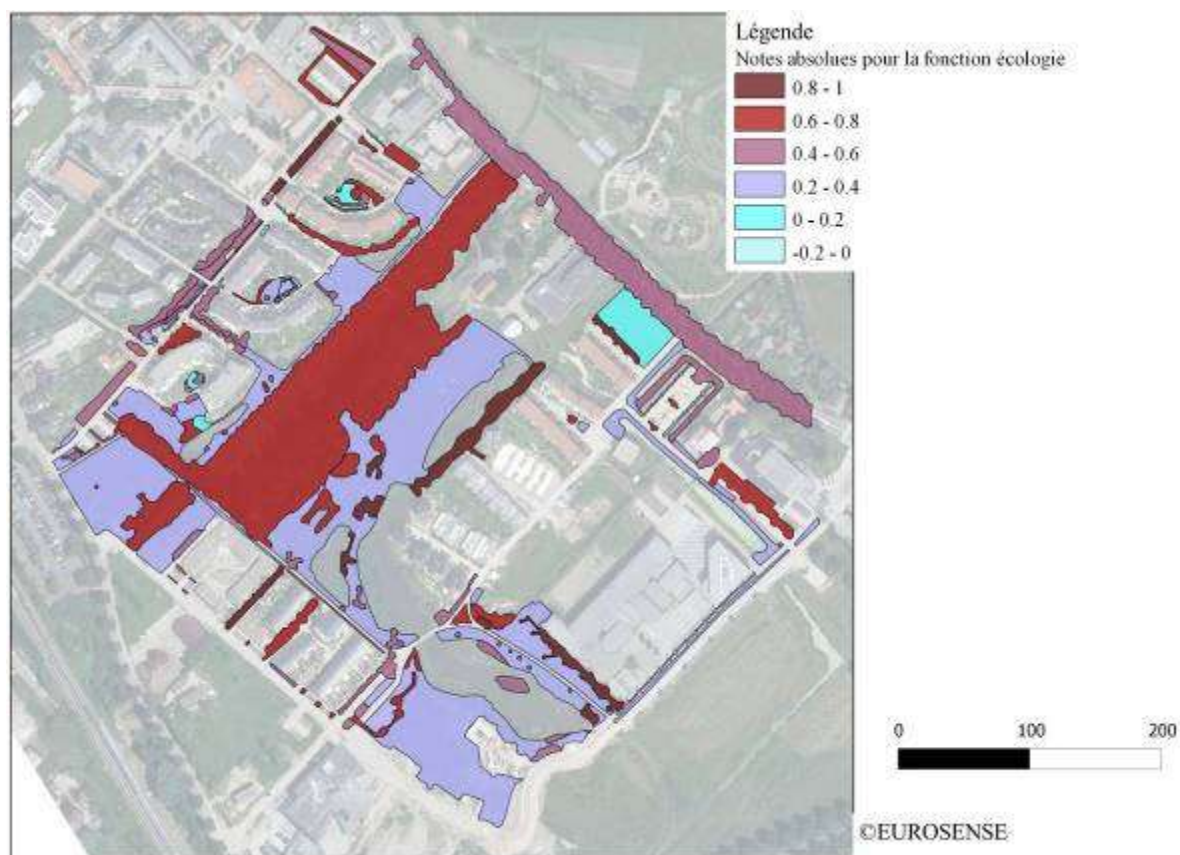


Figure 26 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur l'écologie (notes absolues)

■ Ecologie

La Figure 27 montre les impacts des types de végétation sur l'écologie. La tendance est différente pour cette fonction car ici la même pondération a été donnée à toutes les strates (cf. § Les notes absolues décroissent donc à mesure que le nombre de strates constituant les configurations végétales diminue. Lorsque toutes les strates sont présentes, les notes se situent à environ 0,8, lorsqu'il y a deux strates, les notes varient entre 0.5 et 0.6 et lorsqu'il n'y en a qu'une, les notes sont comprises entre 0.2 et 0.3.

a)). La répartition spatiale des impacts de la végétation sur l'écologie est représentée en Figure 25 et Figure 26.

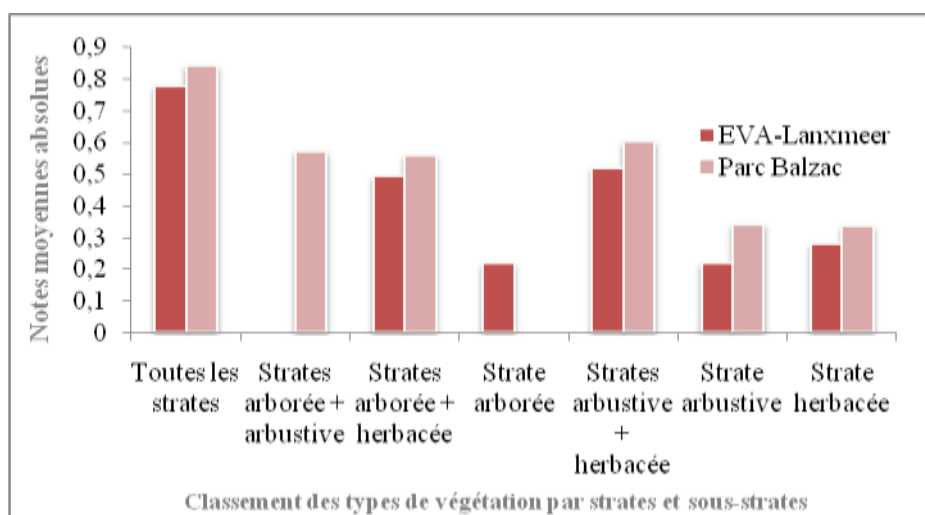


Figure 27 : Impacts sur l'écologie des types de végétation classés par strates et sous-strates

L'écart entre les deux sites est particulièrement élevé pour les types de végétation constitués uniquement d'une strate arbustive. En analysant les proportions relatives de végétation pour le critère « composition floristique de la strate arbustive » (cf. Figure 28), il apparaît que toute la végétation de ce type a une composition homogène à EVA-Lanxmeer, alors que 81% de la végétation de ce type avaient une composition hétérogène au parc Balzac. Or, dans les notations, une hétérogénéité dans la composition floristique est plus bénéfique à la diversité biologique qu'une homogénéité, EVA-Lanxmeer aurait eu un impact inférieur pour ce critère. De la même manière, pour le critère « présence de bois mort et/ou de litière », 100% de ces types de végétation étaient dépourvus de litière ou de bois mort à EVA-Lanxmeer, alors qu'une majorité (91%) en était pourvu au parc Balzac (cf. Figure 29). Or, la présence de litière ou de bois mort est considérée comme plus favorable à la fonction écologie.

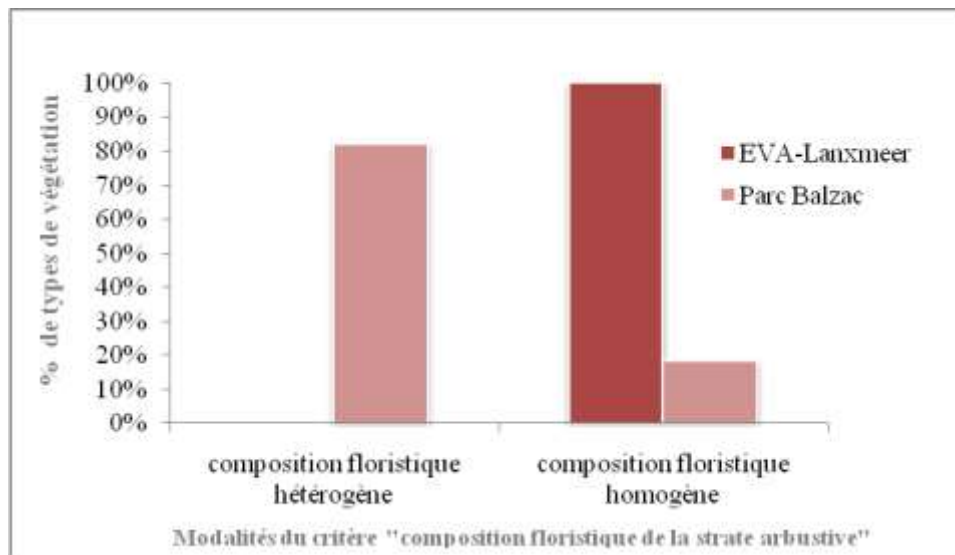


Figure 28 : Proportions de types de végétation à strate arbustive pour chaque modalité du critère "composition floristique de la strate arbustive"

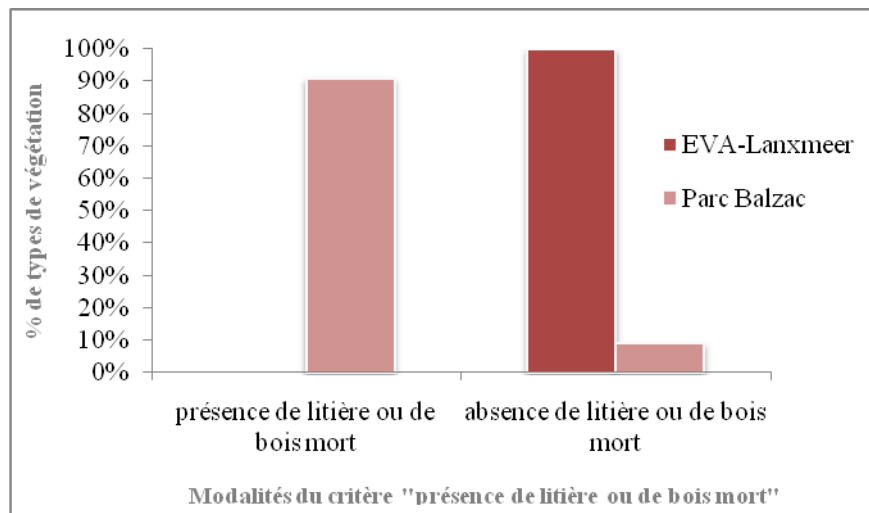


Figure 29 : Proportions de types de végétation à strate arbustive pour chaque modalité du critère "présence de litière ou de bois mort"

La typologie fonctionnelle permet donc de bien faire ressortir une diversité de types fonctionnels de végétation et de hiérarchiser les types de végétation la végétation. L'analyse générale des impacts de la végétation sur les fonctions écosystémiques montre que les tendances obtenues correspondent bien aux orientations données par les coefficients et semblent raisonnables compte tenu des informations données par la littérature.

L'analyse de la contribution de certains critères de description aux écarts constatés entre les deux sites fait toutefois émerger des difficultés concernant l'utilisation de certains critères de description : les critères « présence de bois mort ou de litière », « effet toit » et « effet écran » demanderaient à être mieux définis, car la définition actuelle a donné lieu à des incohérences dans la caractérisation de la végétation. Cet élément est plus longuement abordé dans la partie Discussion.

c) Mise en évidence de configurations végétales remarquables

▪ *Parc Balzac*

Au parc Balzac, il existe par exemple un type de végétation est performant pour toutes les fonctions (type « 14b », voir Figure 30). Il possède une strate arborée dominante, une sous-strate arbustive et herbacée extensive. Cependant, ce type de végétation ne représente qu'1% de la surface du parc Balzac.

En considérant la surface occupée à l'échelle du site, c'est le type « 2b » qui semble être une des configurations les plus remarquables du site. Il représente 24% de la surface du parc Balzac et pour chaque fonction écosystémique, ses notes absolues sont inférieures à celles du type « 14b ».

Type 14b, parc Balzac

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Deuxième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Oui
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Hétérogène
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Mode de gestion des arbustes	Non taillés
Composition floristique arbustive	Hétérogène
Effet « écran » du feuillage	Non
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Extensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Oui

Fonctions écosystémiques	Climat urbain	Qualité de l'air	Hydrologie	Ecologie	Empreinte carbone
Notes absolues	0,97	0,65	0,83	1	0,96



Figure 30 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 14b, parc Balzac

Figure 31 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 2b, parc Balzac

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Première grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Oui
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Hétérogène
Strate arbustive	Absente
Densité des arbustes	-
Persistance du feuillage	-
Mode de gestion des arbustes	-
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Semi-intensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Oui

Type 2b, parc Balzac



Fonctions écosystémiques	Climat urbain	Qualité de l'air	Hydrologie	Ecologie	Empreinte carbone
Notes absolues	0,80	0,46	0,68	0,69	0,71

Type 22ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Deuxième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Non
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Hétérogène
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Mode de gestion des arbustes	Non taillés
Composition floristique arbustive	Homogène
Effet « écran » du feuillage	Non
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Extensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Oui



Fonctions écosystémiques	Climat urbain	Qualité de l'air	Hydrologie	Ecologie	Empreinte carbone	Consommation énergétique
Notes absolues	0,91	0,79	0,83	0,85	0,86	0,91

Figure 32 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 22ev, EVA-Lanxmeer

▪ *EVA-Lanxmeer*

A EVA-Lanxmeer, le type de végétation « 22ev » se situe dans les 5 meilleurs types de végétation pour toutes les fonctions, et constitue une configuration remarquable de ce site. Cette configuration représente environ 2% de la surface totale des types de végétation décrits à EVA-Lanxmeer. Un autre type de végétation, le type « 1ev », représente lui 25% de la surface totale. Lorsque les notes de ce type de configuration sont pondérées par la surface qu'il occupe, il se détache nettement des autres types de végétation. Bien que ses notes absolues soient inférieures au premier type de végétation, cette configuration végétale semble être la plus remarquable à l'échelle du site principalement en raison de l'importance de sa surface. Une description de chacun de ces types se trouve en Figure 32 et Figure 33.

La typologie fonctionnelle de la végétation urbaine permet donc de mettre en évidence des configurations végétales remarquables pour l'ensemble des fonctions écosystémiques considérées. L'approche cartographique a également permis de relativiser les impacts écosystémiques potentiels des types de végétation par rapport à la surface qu'ils occupent à l'échelle du site.

Type 1ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Première grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Oui
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Hétérogène
Strate arbustive	Absente
Densité des arbustes	-
Persistance du feuillage	-
Mode de gestion des arbustes	-
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Semi-intensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Oui



Fonctions écosystémiques	Climat urbain	Qualité de l'air	Hydrologie	Ecologie	Empreinte carbone	Consommation énergétique
Notes absolues	0,75	0,32	0,69	0,72	0,79	0,75

Figure 33 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 1ev, EVA-Lanxmeer

V. Discussion

A. Limites et perspectives de la méthode d'évaluation de la typologie

1. Evaluation empirique de la typologie par des relevés de terrain

La typologie construite dans le cadre de ce mémoire a été testée de manière empirique sur le terrain. Cette méthode a permis d'évaluer son ergonomie et la pertinence des critères choisis pour décrire et hiérarchiser les types de végétation.

Notamment, certains critères comme « présence de bois mort ou de litière », « effet écran », « effet toit » sont pertinents pour caractériser les fonctions écosystémiques de la végétation. Pourtant, lors des relevés, ces critères étaient difficiles à évaluer, amenant à un manque d'homogénéité et à des erreurs. Pour éviter les confusions, ces critères devraient être mieux définis.

Le système de notation qui a été élaboré permet de hiérarchiser les types de végétation pour chaque fonction écosystémique. Les notes de chaque type de végétation semblent particulièrement pertinentes lorsqu'elles sont comparées aux notes des autres types de végétation. De plus, il apparaît que le nombre de critères de description décroît selon que le considère respectivement la strate arborée (9 critères), la strate arbustive (5 critères) et la strate herbacée (3 critères). Quelle que soit la note donnée, les types de végétation à dominante arborée ont en général une note supérieure à celle des types à dominante arbustive et herbacée. Ceci introduit un biais dans l'analyse des notes issues des tests de la typologie et il est plus « risqué » de comparer des types de végétation ayant une strate dominante différente. Dans l'analyse de ces notes, il semble donc plus pertinent de comparer entre eux les types de végétation ayant la même strate dominante.

Enfin, ce système de notation permet uniquement d'obtenir des notes pour chaque type de végétation, et ainsi, comme souhaité dans les objectifs de la typologie, de mettre en évidence des configurations végétales remarquables. Une extrapolation de ces notes à l'échelle du site aurait été intéressante, mais cette approche n'a pas été explorée car elle ne répondait pas aux objectifs premiers de ce mémoire.

2. Evaluation théorique la typologie par des experts scientifiques

Il aurait sans doute été pertinent, en complément de cette évaluation empirique, de procéder à une validation plus théorique de la typologie par l'intermédiaire d'experts scientifiques. Cette approche a été initiée au cours de mon mémoire par la consultation de quelques scientifiques spécialisés dans certaines disciplines abordées dans la typologie et qui correspondent aux fonctions écosystémiques considérées : empreinte carbone, hydrologie, écologie et qualité de l'air. Cette démarche sera poursuivie à la suite de ce stage et une validation théorique sera réalisée sous la forme d'ajustements par les équipes de recherche impliquées dans VegDUD.

B. Limites et perspectives de la typologie

1. Etendue des combinaisons possibles

En considérant les 20 critères utilisés pour décrire la végétation, la typologie offre une diversité très importante de types de végétation différents (26 000 possibilités). Les 125 types de végétation décrits lors des tests ne représentent donc qu'une très petite partie de ces possibilités. Néanmoins, la complexité apparente de cette typologie offre un choix large de scénarios alternatifs et les moyens de les décrire. De plus, en fonction de ces scénarios alternatifs, seuls certains critères de la typologie sembleront pertinents pour caractériser la végétation, et il sera alors possible d'ajuster la typologie aux besoins.

2. Végétation et caractéristiques du sol

La typologie de la végétation qui a été présentée prend majoritairement en compte la végétation. Le sol est seulement caractérisé par un critère, « traces d'humidité du sol ». Il aurait été pertinent d'intégrer les caractéristiques du sol (profondeur, teneur en matière organique, texture) dans la typologie, et ainsi de donner plus d'importance au couple sol-plante dans les appréciations.

Nous avons fait l'hypothèse qu'il était possible de caractériser la végétation urbaine et ses impacts écosystémiques sans connaître son espèce botanique. Cependant, un des critères de la typologie « persistance du feuillage » a nécessité le plus souvent une reconnaissance du genre botanique des végétaux rencontrés. Bien que ce critère ne réponde pas tout-à-fait à l'hypothèse posée au départ, il semble nécessaire de le conserver dans la typologie de la végétation urbaine.

3. Contexte urbain et caractéristiques paysagères

Une des évolutions futures de la typologie de la végétation urbaine pourrait être l'intégration du contexte urbain de la végétation et des ambiances créées par celle-ci. En effet, il serait intéressant de caractériser les impacts de la végétation selon un gradient d'urbanisation et selon les usages de l'espace urbain alentours (espace résidentiel, touristique, quartier d'affaire etc.).

L'aspect paysager, au sens visuel du terme, n'a pas été intégré en tant que tel dans la typologie de la végétation urbaine. Il n'existe pas de critères spécifiques bien que certains critères comme l'effet écran ou l'effet toit, en étant mieux définis, pourraient renseigner sur les ambiances possibles créées par la configuration. En revanche, un même type de végétation peut se traduire de différentes manières *in situ*. Les photographies ci-dessous montrent un exemple de deux configurations végétales du parc Balzac appartenant à un même type de végétation : des arbustes groupés, non taillés, avec une composition floristique hétérogène et une strate herbacée. Ces deux configurations ont les mêmes caractéristiques mais n'ont pas du tout le même aspect paysager : l'un se présente sous forme de haie champêtre (Figure 34, a), l'autre recouvre une butte et est constitué d'arbustes rampants (Figure 34, b). La typologie actuelle de la végétation laisse donc place à de nombreuses variantes dans les configurations végétales décrites. De la même façon que pour le contexte urbain, il serait pertinent d'intégrer des critères de description de l'aspect paysager de la configuration végétale dans la typologie.





Figure 34 : Différences d'aspects paysagers observés pour deux mêmes types fonctionnels de végétation

4. Temporalité et évolution de la végétation

La typologie de la végétation urbaine et le système de notation permettent d'évaluer de manière pertinente les impacts écosystémiques potentiels de la végétation à un instant donné. Cependant, il paraît difficile d'évaluer leur évolution dans le temps. Pourtant, il est certain que les configurations végétales changeront par rapport à la croissance de la végétation, à une mortalité éventuelle, à un changement de gestion de l'espace, à un réaménagement, etc. De manière plus globale, ces changements peuvent être liés au développement urbain : par exemple, une urbanisation importante ou une densification urbaine pourrait provoquer la réduction en surface de certains espaces verts et une augmentation de l'intensité de leur gestion.

Dans VegDUD, un SIG collaboratif sera mis en place par le volet PHYSIO et il permettra de projeter différents scénarios d'évolution de la ville de Nantes. Les scénarios alternatifs qui seront modélisés par la suite dépendront également de l'évolution de la ville. S'il s'avère nécessaire d'intégrer la temporalité dans la typologie de la végétation urbaine, quelques adaptations de la typologie seront à prévoir, soit en gardant les mêmes critères et en les faisant varier au cours du temps, soit en intégrant d'autres paramètres d'évolution qui pourraient être communs avec le SIG collaboratif.

5. Compensations entre fonctions écosystémiques

La construction de la typologie et l'exploration préalable des fonctions écosystémiques de la végétation a fait apparaître des relations entre ces fonctions. Par exemple, les fonctions climat urbain et consommation énergétique des bâtiments sont totalement liées et faire une évaluation séparément pour chacune revient à faire la même évaluation en double. De la même manière, la consommation énergétique influence l'empreinte carbone des villes. Dans cette première approche, il aurait été trop complexe de prendre en compte les phénomènes de compensations entre fonctions, et il apparaissait nécessaire d'appréhender individuellement chaque fonction. Il serait intéressant de savoir si les modélisations et les évaluations qui seront réalisées dans VegDUD prendront effectivement en compte ces interrelations entre fonctions écosystémiques. Si tel était le cas il serait nécessaire d'apporter des modifications à la typologie.

VI. Conclusion

Ce mémoire avait pour objectif de construire une typologie fonctionnelle de la végétation urbaine permettant de décrire et caractériser les impacts de la végétation sur le climat, la qualité de l'air, la consommation énergétique des bâtiments, l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales, l'écologie et l'empreinte carbone des villes. La finalité de cette typologie est de mettre en évidence des configurations végétales remarquables du point de vue de ces fonctions écosystémiques et qui pourraient être intégrées aux scénarios alternatifs modélisés dans la suite de VegDUD. Une

typologie a donc été construite sur la base de caractéristiques fonctionnelles relevées dans la bibliographie et traduites en critères de description. En complément de cette typologie, un système de pondération et de notation des critères de description a été élaboré pour permettre une appréciation qualitative des impacts écosystémiques de la végétation. Afin d'évaluer la pertinence de ces deux outils, des tests ont été réalisés sur deux sites présentant potentiellement une diversité importante de types de végétation : le parc Balzac, à Angers, et EVA-Lanxmeer, un éco-quartier situé à Culemborg, aux Pays-Bas. Ces tests avaient pour objectifs de mettre en évidence des difficultés méthodologiques relatives à la description de la végétation, d'évaluer dans quelle mesure il était possible de décrire la végétation sans connaître leur espèce botanique et de les hiérarchiser par rapport à leurs impacts écosystémiques.

La caractérisation de la végétation des deux sites tests a montré qu'il était possible, grâce à la typologie de la végétation et au système de notation, de faire émerger une certaine diversité de types fonctionnels de végétation et de les hiérarchiser par rapport à leurs impacts. Bien que les impacts des types de végétation soient dépendants de la surface qu'ils occupent à l'échelle du site, les résultats obtenus sans tenir compte de la surface mettent en évidence des configurations végétales remarquables. Certaines configurations avaient des impacts très positifs pour toutes les fonctions, d'autres n'étaient remarquables que pour quelques unes. Une analyse plus précise permet de déterminer la contribution relative des caractéristiques de la végétation aux impacts écosystémiques. Ces tests ont également permis de faire émerger des limites soit dans l'utilisation soit dans la portée de cette typologie fonctionnelle de la végétation urbaine. Certaines difficultés d'ordre méthodologique ont fait émerger le besoin de définir plus précisément certains critères de description de la végétation.

La typologie permet théoriquement de décrire un nombre très important de types de végétation différents, ce qui offre de nombreuses possibilités dans le choix des scénarios alternatifs et n'empêche pas une simplification ultérieure de la typologie selon les besoins.

De nombreuses évolutions de la typologie sont possibles dans le cadre de VegDUD ou d'autres travaux de recherche à caractère exploratoire : il serait intéressant d'y intégrer le contexte urbain et l'aspect paysager de la végétation, de prendre en compte l'évolution de la végétation dans le temps et d'explorer les phénomènes de compensations entre les fonctions écosystémiques considérées.

Dans la continuité de ce travail méthodologique, plusieurs perspectives de recherche paraissent particulièrement pertinentes.

Décrire la végétation urbaine et ses impacts écosystémiques sans avoir la connaissance de l'espèce botanique était une des hypothèses testées dans ce mémoire. Cependant, l'étude et les tests ont montré qu'il serait intéressant d'approfondir cette typologie en descendant à l'échelle de l'espèce végétale. Les critères de description actuellement intégrés dans la typologie seraient utilisés pour regrouper ces espèces végétales par niveau d'impact. Cette typologie fonctionnelle approfondie aurait des retombées pratiques immédiates puisqu'elle pourrait se traduire en préconisations pour les collectivités territoriales.

L'étude des fonctions écosystémiques de la végétation urbaine relève à la fois des sciences physiques (climat, qualité de l'air, hydrologie, énergétique), des sciences du vivant (écologie) et des sciences sociales (bénéfices sociaux). Cette typologie de la végétation urbaine et le système d'évaluation s'applique particulièrement bien pour les fonctions relatives aux sciences physiques. D'autres méthodologies sont certainement plus adaptées aux autres fonctions et mériteraient d'être explorées. Il serait donc pertinent de croiser cette méthodologie avec celle qui est mise en place dans le cadre de l'ANR Trame verte urbaine. A ce stade de l'ANR VegDUD, il est d'ores et déjà possible de confronter la typologie fonctionnelle de la végétation urbaine avec les résultats de ce programme voisin. Au-delà d'une simple comparaison, une mutualisation permettrait de répondre au projet ambitieux d'étudier les mécanismes et applications pratiques de l'ensemble des fonctions écosystémiques de la végétation en ville.

VII. Bibliographie

Articles scientifiques et actes de colloques

Akbari H., Pomerantz M., Taha H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar energy* **70** (3), pp. 295-310.

Angold P.G., Sadler J.P., Hill M.O., Pullin A., Rushton S., Austin K., Small E., Wood B., Wadsworth R., Sanderson R., Thompson K. (2006). Biodiversity in urban habitat patches, *Science of the Total Environment* **360**, pp. 196– 204.

Berndtsson J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review, *Ecological Engineering* **36**, pp. 351–360.

Bolund P., Hunhammar S. (1999). Ecosystem services in urban areas, *Ecological economics* **29**, pp. 293-301.

Brenneisen S. (2003). The benefits of biodiversity from green roofs: key design consequences. In : Proceedings of 1st North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities, Chicago. The cardinal Group, Toronto, pp. 323-329.

Escobedo F. J., Nowak D.J. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest, *Landscape and Urban Planning* **90**, pp. 102-110.

Gedge D., Kadas G. (2004). Bugs, bees, and spiders: green roof design for rare invertebrates. In : Second annual greening rooftops for sustainable communities conference, awards and trade show.

Getter K.L., Rowe D.B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development, *HortScience* **41** (5), pp. 1276-1285.

Guay F., Baudouin Y. (2003). Les îlots de chaleur urbains, *Collectivités viables - Le bulletin d'information de Vivre en Ville* **2** (3), pp. 8-9.

Gutleben C., Provendier D., Streit J., Bécid P., Lecourt J.M. (2010). Empreinte carbone des gazons durant leurs phases d'entretien : Premiers résultats et identification des leviers d'action possibles. In : 2^{ème} conférence internationale de la société européenne des gazons (European Turfgrass Society), 11-14 avril 2010, Angers.

Hahs A.K., McDonnell M.J. (2006). Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban-rural gradient, *Landscape and Urban Planning* **78**, pp. 435-448.

Hamada S., Ohta T. (2010). Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas, *Urban Forestry & Urban Greening* **9**, pp. 15-24.

Jo H.K., McPherson E.G. (1995). Carbon storage and flux in urban residential greenspace, *Journal of Environmental Management* **45**, pp. 109-133.

Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma* **123**, pp. 1-22.

Matheussen B., Kirschbaum R.L., Goodman I.A., O'Donnell G.M., Lettenmaier D.P. (2000). Effects of land cover change on stream flow in the interior Columbia River Basin (USA and Canada), *Hydrological processes* **14**, pp. 867-885.

McPherson E. G. (1992). Cooling urban heat islands with sustainable landscapes, *Urbanization and terrestrial ecosystems*, pp. 151-171.

- Nowak D.J., Crane D.E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA, *Environmental pollution* **116**, pp. 381-389.
- Nowak D.J., Stevens J.C., Sisinni S.M., Luley C.J. (2002). Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide, *Journal of Arboriculture* **28**(3), pp. 113-122.
- Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, *Urban Forestry&Urban Greening* **4**, pp. 115-123.
- Nowak D.J., Hoehn R., Crane D.E. (2007b). Oxygen production by urban trees in the united states, *Arboriculture and Urban Forestry* **33** (3), pp. 220-226.
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Köhler M., Liu K.K.Y., Rowe A. B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services, *BioSciencemag* **57**(10), pp. 823-832.
- Qian Y., Follett R. F. (2002). Turfgrass: Assessing Soil Carbon Sequestration in Turfgrass Systems Using Long-Term Soil Testing Data, *Agronomic Journal*. **94**, pp. 930-935.
- Sandström U.G., Angelstam P., Mikusinski G. (2006). Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space, *Landscape and Urban Planning* **77**, pp. 39-53.
- Sharkey T.D., Wiberley A.B., Donohue A.R. (2008). Isoprene Emission from Plants: Why and How, *Annals of Botany* **101**, pp. 5–18.
- Spronken-Smith R.A., Oke T. (1999). Scale modelling of nocturnal cooling in urban parks, *Boundary-Layer Meteorology* **93** (2), pp. 287-312.
- VanWoert N.D., Rowe D.B., Andresen J.A., Rugh C.L., Fernandez R.T., Xiao L. (2005). Green roofs stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth, *Journal of Environmental Quality* **34**, pp. 1036–1044.

Rapports

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) (2007). **Guides des facteurs d'émissions. Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées. Bilan Carbone ®**, Version 5.0., rapport technique, Mission Interministérielle de l'Effet de Serre, 240 p.
- Dubé A., Saint-Laurent D., Sénécal G. (2006). **Penser le renouvellement des politiques de conservation de la forêt urbaine à l'ère du réchauffement climatique**, Institut national de la recherche scientifique - Urbanisation, Culture et Société, 50 p.
- Intergovernmental panel on Climate Change (IPCC) (2007). **Regional climate projections**. In : Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.). Cambridge University Press, pp. 872-874.
- Millenium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). **Ecosystems and human well-being: general synthesis**, pp. 5-9.
- Nowak D.J., Wang J., Endreny T. (2007a). **Environmental and Economic Benefits of Preserving Forests within Urban Areas: Air and Water Quality**, in: The economic benefits of land conservation. The Trust for Public Land, de Brun, C.T.F, pp. 28-47.

Peck S.W., Callaghan C., Kuhn M.E., Bass B. (1999); **Greenbacks from green roofs: gorging a new industry in Canada**, Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion, Canada Mortgage and Housing Corporation, 78 p.

Peck S.W., Kuhn M. (2001). **Design guidelines for green roofs**. Rapport de synthèse, Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario, 21 p.

Vergriete Y., Labrecque M. (2007). **Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais**, rapport de synthèse, Université de Montréal, 35 p.

Ouvrages

Chaïb J. (1997). **Les eaux pluviales, gestion intégrée**, Ed. Sang de la Terre.

Clergeau P. (2007). **Une écologie du paysage urbain**, Ed. Apogée.

Direction des jardins de la ville de Rennes (2008). **La gestion différenciée à Rennes, guide de maintenance**, 38 p.

INRA, Station de recherches sur la forêt et l'environnement (1979). **La forêt et la ville**, Ed. INRA.

Johnston J., Newton J. (2004). **Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements**, Major of London, Greater London Authority.

Mémoires et thèses

Bouyer J. (2009). **Modélisation et simulation des microclimats urbains : Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments**. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, 306 p.

Pellissier V. (2006). Conséquence de l'urbanisation sur la dynamique de la végétation. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1.

Singh M. H. (2007). **Soil Organic Carbon Pools in Turfgrass Systems of Ohio**. Rapport de master, Environment Science Graduate Program. The Ohio State University, 141 p.

Vallet J. (2009). **Gradient d'urbanisation et communautés végétales d'espaces boisés : Approche à plusieurs échelles dans trois agglomérations du Massif armoricain**. Thèse de doctorat, Agrocampus Ouest - Centre d'Angers, 293 p.

Brochures

CAUE Vendée (2006). **Guide méthodologique de la gestion différenciée**, 35 p.

Centre for Ecology & Hydrology (2002). **Trees and sustainable urban air quality**, Natural environment research council, Lancaster University, United Kingdom, 10 p.

GrandLyon (Communauté urbaine du) (2008). **Aménagement et eaux pluviales**, 67 p.

GrandLyon (Communauté urbaine du) (2010). **Lutte contre les îlots de chaleur urbains : référentiel conception et gestion des espaces publics**, 4 p.

Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement (2000). **Maillage vert et bleu**, 17 p.

Sites Internet

Energie-cités, E. (visité le 26/07/2010). **EVA-Lanxmeer: residential participation and integrated functions, part of the Guidebook of sustainable neighbourhoods in Europe.**

http://energie-cites.eu/IMG/pdf/ademe_sustainable_districts_en.pdf

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) (visité en mars 2010). **Etalement urbain et artificialisation des sols en France.**

www.developpement-durable.gouv.fr/Etalement-urbain-et.html

Service Parcs et Jardins d'Angers (visité le 26/07/2010) **Les parcs et jardins d'Angers : le parc Balzac.**

<http://www.angers.fr/vie-pratique/environnement/les-parcs-et-jardins-publics/les-parcs-et-jardins-d-angers/index.html>

Listes des tableaux

Tableau 1 : Typologie foncière et juridique (Source : CAUE de la Vendée, 2006)	30
Tableau 2 : Typologie de gestion des espaces verts de Rennes (Source : Direction des Jardins de la ville de Rennes, 2008)	30
Tableau 3 : Typologie paysagère, de fonction et d'usages de la végétation (Source : Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2000)	32
Tableau 4 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur le climat urbain	34
Tableau 5 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur l'empreinte carbone	34
Tableau 6 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur la qualité de l'air	36
Tableau 7 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur le ruissellement et la qualité des eaux de pluie	36
Tableau 8 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant l'impact de la végétation sur la consommation énergétique des bâtiments	38
Tableau 9 : Caractéristiques fonctionnelles et facteurs externes déterminant les rôles écologiques de la végétation	40
Tableau 10 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction climat urbain	58
Tableau 11 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction qualité de l'air	60
Tableau 12 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction empreinte carbone	62
Tableau 13 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction consommation énergétique des bâtiments	62
Tableau 14 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction hydrologie et la qualité des eaux pluviales	64
Tableau 15 : Notation des modalités pour chaque critère de description de la végétation, pour la fonction écologie	66

Liste des figures

Figure 1 : Typologie fonctionnelle générale de la végétation urbaine	56
Figure 2 : Classement des types de végétation du site EVA-Lanxmeer par strates et sous-strates	68
Figure 3 : Classement des types de végétation du parc Balzac par strates et sous-strates	68
Figure 4 : Répartition des types fonctionnels de végétation pour chacun des sites selon un classement de la végétation par strates et sous-strates	69
Figure 5 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur le climat urbain (notes absolues)	70
Figure 6 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur le climat urbain (notes absolues)	70
Figure 7 : Impacts sur le climat urbain des types de végétation classés par strates et sous-strates	71
Figure 8 : Proportions de types de végétation constitués d'une strate arborée et herbacée pour chaque modalité du critère "densité de la végétation"	72
Figure 9 : Proportions de types de végétation constitués d'une strate arborée et herbacée pour chaque modalité du critère "effet toit"	72
Figure 10 : Impacts sur la qualité de l'air des types de végétation classés par strates et sous-strates	73
Figure 11 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur la qualité de l'air (notes absolues)	74
Figure 12 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur la qualité de l'air (notes absolues)	74
Figure 13 : Proportions de types de végétation constitués de toutes les strates pour chaque modalité du critère "effet toit des arbres"	75
Figure 14 : Proportions de types de végétation constitués de toutes les strates pour chaque modalité du critère "effet écran des arbres"	75
Figure 15 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur l'empreinte carbone (notes absolues)	76
Figure 16 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur l'empreinte carbone (notes absolues)	76
Figure 17 : Impacts sur l'empreinte carbone des types de végétation classés par strates et sous-strates	77
Figure 18 : Proportions de types de végétation à dominante herbacée pour chaque modalité du critère "mode de gestion de la strate herbacée"	78
Figure 19 : Proportions de types de végétation à dominante herbacée pour chaque modalité du critère "présence de bois mort ou de litière"	78
Figure 20 : Impacts sur la consommation énergétique des bâtiments des types de végétation classés par strates et sous-strates	79

Figure 21 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur la consommation énergétique des bâtiments (notes absolues).....	79
Figure 22 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales (notes absolues).....	80
Figure 23 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales (notes absolues).....	80
Figure 24 : Impacts sur l'hydrologie et la qualité des eaux pluviales des types de végétation classés par strates et sous-strates	81
Figure 25 : Carte des impacts des types de végétation du parc Balzac sur l'écologie (notes absolues).....	82
Figure 26 : Carte des impacts des types de végétation d'EVA-Lanxmeer sur l'écologie (notes absolues)	82
Figure 27 : Impacts sur l'écologie des types de végétation classés par strates et sous-strates.....	83
Figure 28 : Proportions de types de végétation à strate arbustive pour chaque modalité du critère "composition floristique de la strate arbustive".....	84
Figure 29 : Proportions de types de végétation à strate arbustive pour chaque modalité du critère "présence de litière ou de bois mort"	84
Figure 30 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 14b, parc Balzac.....	86
Figure 31 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 2b, parc Balzac.....	87
Figure 32 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 22ev, EVA-Lanxmeer	88
Figure 33 : Caractéristiques et impacts écosystémiques du type 1ev, EVA-Lanxmeer	90
Figure 34 : Différences d'aspects paysagers observés pour deux mêmes types fonctionnels de végétation	95

Liste des Annexes

Annexe 1: Caractéristiques fonctionnelles de la végétation, fonctions écosystémiques et mécanismes impliqués	104
Annexe 2 : Typologies fonctionnelles de la végétation urbaine par fonction écosystémique.....	106
Annexe 3: Note de définition des critères et modalités de description de la végétation urbaine	108
Annexe 4 : Typologie fonctionnelle des points d'eau.....	111
Annexe 5 : Typologie fonctionnelle des toits végétalisés	111
Annexe 6: Tableau de pondération des critères de description de la végétation urbaine par fonction écosystémique ...	112
Annexe 7 : Fiches de relevés de terrain de la végétation, des toits végétaux et des points d'eau	113
Annexe 8: Description de quelques types de végétation par strates et sous-strates	115

Annexe 1: Caractéristiques fonctionnelles de la végétation, fonctions écosystémiques et mécanismes impliqués

Echelles	Caractéristiques fonctionnelles	Climat urbain	Empreinte carbone	Qualité de l'air	Hydrologie et qualité des eaux pluviales	Consommation énergétique des bâtiments	Ecologie
Caractéristiques propres à la végétation	Surface foliaire	Interception des rayonnements lumineux Evapotranspiration		Interception des rayonnements lumineux Evapotranspiration Absorption de certains polluants sous forme gazeuse Production d'oxygène	Interception des eaux de pluie Evapotranspiration Réduction des phénomènes contribuant à l'érosion (battance)	Interception des rayonnements lumineux Evapotranspiration	
	Densité foliaire	Interception des rayonnements lumineux				Interception des rayonnements lumineux	
	Albédo	Réflexion des rayonnements lumineux				Réflexion des rayonnements lumineux	
	Rugosité aérodynamique	Barrière aux vents		Barrière aux vents		Barrière aux vents	
	Quantité de biomasse produite		Séquestration de carbone				
	Taux de croissance		Séquestration de carbone				
	Potentiel d'émission de COV			Formation d'ozone par réaction entre les COV et les oxydes d'azotes			
	Capacité épuratrices des végétaux				Filtration, fixation et absorption/stockage des pollutions de l'eau		
	Capacité d'évapotranspiration	Evapotranspiration			Evapotranspiration	Evapotranspiration	
Configuration végétale	Mode de gestion de la végétation		Emissions de gaz à effet de serre Augmentation de la capacité photosynthétique des plantes				Perturbations du milieu
	Densité des végétaux et continuité de la canopée	Interception des rayonnements lumineux		Modification de la dispersion des polluants : effet d'écran, effet de toit		Interception des rayonnements lumineux	
	Composition floristique de la végétation			Emissions de COV			Diversification des habitats
	Structure de la végétation						Diversification des habitats
	Exposition et distance de la végétation par rapport aux bâtiments					Interception des rayonnements lumineux	
	Matière organique		Décomposition de la matière organique (émissions de gaz à effet de serre) Augmentation de la capacité photosynthétique des plantes				Entretien de la microfaune du sol Apports de nutriments pour la faune et la flore
	Présence d'un point d'eau	Evaporation de l'eau et abaissement des températures			Ruissellement, stockage et infiltration/évacuation des eaux pluviales	Evaporation de l'eau et abaissement des températures	

	Types de toits végétalisés				Rétention et retardement du ruissellement	Interception des rayonnements lumineux Augmentation de l'albédo Evapotranspiration Isolation thermique	Diversification des habitats
	Pente des toits végétalisés				Rétention et retardement du ruissellement des eaux Diminution de la capacité d'évapotranspiration des végétaux (sécheresse)		
Facteurs externes à la végétation	Conditions climatiques et édaphiques du milieu	Evapotranspiration	Séquestration de carbone Emissions de carbone	Interception des particules Evapotranspiration Dispersion des polluants	Eutrophisation : dégradation de la qualité des eaux Rétention et retardement du ruissellement des eaux des toits végétaux (selon intensité des précipitations)	Evapotranspiration	Diversification de la faune et de la flore
	Occupation du sol et fréquentation de l'espace						Perturbations du milieu

Annexe 2 : Typologies fonctionnelles de la végétation urbaine par fonction écosystémique

	Critères de description de la végétation	Caractéristiques fonctionnelles correspondantes	Climat urbain	Empreinte carbone	Qualité de l'air	Hydrologie et qualité des eaux pluviales	Consommation énergétique des bâtiments	Ecologie
Espace végétalisé	Strate arborée	Surface foliaire Albédo du feuillage Quantité de biomasse produite Capacité d'évapotranspiration Structure de la végétation	×	×	×	×	×	×
	Densité des arbres	Densité foliaire Densité de la végétation	×	×	×	×	×	×
	Persistance du feuillage	Surface foliaire	×		×	×	×	
	Dimensions des arbres	Surface foliaire Quantité de biomasse produite	×	×	×	×	×	
	Forme des arbres	Surface foliaire Rugosité aérodynamique	×		×	×	×	
	Mode de gestion des arbres	Quantité de biomasse produite Mode de gestion de la végétation		×				
	Effet « toit » des houppiers	Densité de la végétation et continuité de la canopée	×		×		×	
	Effet « écran » des houppiers	Densité de la végétation et continuité de la canopée	×		×		×	
	Composition floristique arborée	Composition floristique			×			×
	Strate arbustive	Surface foliaire Albédo du feuillage Quantité de biomasse produite Capacité d'évapotranspiration Structure de la végétation	×	×	×	×	×	×
	Densité des arbustes	Densité foliaire Densité de la végétation	×	×	×	×	×	×
	Persistance du feuillage	Surface foliaire	×		×	×	×	
	Mode de gestion des arbustes	Quantité de biomasse produite Mode de gestion de la végétation		×				
	Composition floristique arbustive	Composition floristique			×			×
	Effet « écran »	Densité de la	×		×		×	

	du feuillage	végétation et continuité de la canopée						
	Strate herbacée	Surface foliaire Albédo du feuillage Quantité de biomasse produite Capacité d'évapotranspiration Structure de la végétation	×	×	×	×	×	×
	Mode de gestion des herbacées	Surface foliaire Quantité de biomasse produite Mode de gestion de la végétation	×	×	×	×	×	
	Composition floristique herbacée	Composition floristique			×			×
	Bois mort ou litière	Matière organique en décomposition		×				×
	Humidité temporaire du sol	Conditions édaphiques et adaptation des végétaux à ces conditions	×	×	×	×	×	×
Toit végétalisé	Type de toit	Type de toit végétalisé	×	×	×	×	×	×
	Pente du toit	Pente du toit				×		
Point d'eau	Présence d'un point d'eau permanente	Point d'eau permanent	×			×	×	×
	Perméabilité du point d'eau	Point d'eau permanent				×		
	Profondeur du point d'eau	Conditions d'eutrophisation du point d'eau				×		
	Ensoleillement ou l'ouverture du point d'eau	Conditions d'eutrophisation du point d'eau				×		
	Impluvium vers le point d'eau	Point d'eau permanent				×		
	Végétation macrophyte ou hydrophyte (point d'eau)	Capacité épuratrice des végétaux				×		×

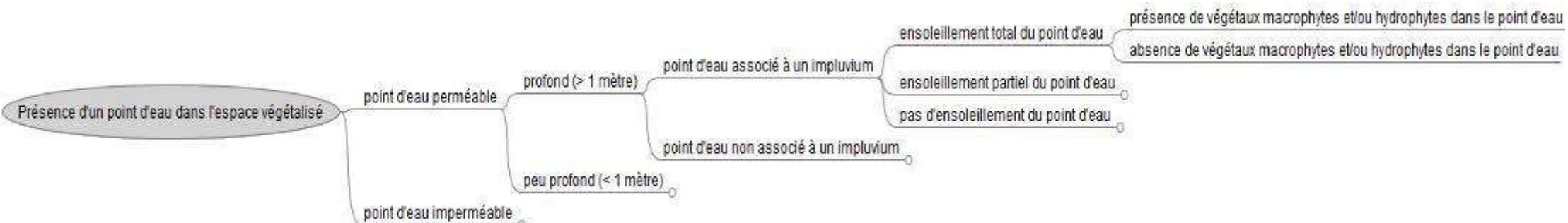
Annexe 3: Note de définition des critères et modalités de description de la végétation urbaine

Critères	Définition et seuils
Strate arborée	Plante ligneuse (produisant du bois) possédant un tronc et un houppier, regroupant l'ensemble de la ramification. La hauteur des arbres est variable selon le stade de croissance des arbres. Dans le cadre de cette typologie, on parle de strate arborée indépendamment du fait que les arbres sont isolés ou groupés
Strate arbustive	Plante ligneuse, de moins de 8 mètres, ne possédant en général pas de tronc. Sous couvert d'arbres isolés ou groupés/alignés, présence d'arbustes (< 8 mètres) sur au moins 50% de la surface au sol sous les arbres.
Strate herbacée	Plante ne produisant pas de bois. Cette dénomination regroupe également les annuelles, vivaces, bulbes et plantes grimpantes. Sous couvert d'arbres ou d'arbustes isolés ou groupés/alignés, présence de plantes herbacées sur au moins 50% de la surface au sol sous les arbres ou arbustes.
Mode de gestion des arbres et arbustes	Forme qui est donnée à l'arbre ou à l'arbuste. <u>Non taillés</u> : l'arbre ou l'arbuste n'a subi aucune taille (en dehors des tailles de formation) et développe son port naturel. <u>Architecturés ou taillés</u> : l'arbre ou l'arbuste a subi des tailles qui modifient volontairement son port (ex. haie taillée et topiaire pour les arbustes, taille en rideau, marotte pour les arbres.
Mode de gestion de la strate herbacée	<u>Extensive ou pas de gestion</u> : Type prairie champêtre, composition floristique non homogène, végétation haute de plus de 30 cm entre deux fauches, 2 ou 3 fauches par an. <u>Semi-intensive</u> : Espace enherbé tondu régulièrement pour garder un aspect de propreté, plates-bandes de vivaces, annuelles ou bulbes, plantes grimpantes (pergolas ou murs). Composition floristique et couverture végétale hétérogène, présence possible d'adventices (pissenlits) et de zones non enherbées en sol nu. Végétation qui peut monter jusqu'à 30 cm entre deux tontes. <u>Intensif</u> : Type gazon, tontes très fréquentes. couverture végétale et composition floristique très homogène : pas de zones non enherbées ou piétinées, pas d'adventices ; traces visibles d'irrigation : gazon très vert dans les mois chauds, matériels d'irrigation visibles.
Densité des arbres et arbustes	<u>Arbre(s)/arbuste(s) isolé(s)</u> : Arbres ou arbustes situés à plus de 10 mètres d'un arbre ou arbuste. <u>Exception</u> : dans un alignement de rue, de cours, ou mail, la distance entre deux arbres d'un alignement peut parfois être de plus de 10 mètres, mais sont quand même considérés comme groupés. <u>Arbre(s)/arbuste(s) groupés</u> : Arbres ou arbustes situés à moins de 10 mètres d'un autre arbre ou arbuste. Comprend les bois, les haies, les bosquets, les massifs boisés. <u>Exception</u> : les alignements de rues, cours et mails sont compris, même si les arbres sont espacés de moins de 10 mètres.
Persistance du feuillage	Pour un arbre/arbuste isolé, noter si l'arbre/arbuste a un feuillage persistant ou caduc. Pour des arbres ou arbustes groupés, noter si la majorité de la

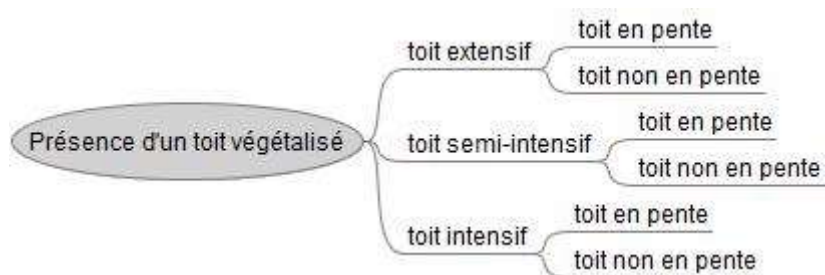
	canopée/feuillage est caduque ou persistante. La majorité se situe au-delà de 50% de la surface projetée de la canopée et ne s'évalue pas sur le nombre d'arbres/arbustes.
Dimensions des arbres	<u>Première grandeur</u> : plus de 20 mètres de haut <u>Deuxième grandeur</u> : de 5 à 20 mètres de haut <u>Troisième grandeur</u> : jusqu'à 5 mètres de haut Pour les arbres groupés, considérer la taille de la majorité des arbres ou de la canopée (plus de 50%). NB : pour un arbre jeune, on note la taille de l'arbre à l'instant du relevé, même si la grandeur de cet arbre à maturité pourra être différente.
Forme de l'arbre	Port et forme du houppier, distinguer: <u>Forme libre, port érigé</u> : arbre à port colonnaire ou à port fastigié, c'est-à-dire les branches insérées sur le tronc avec un angle de moins de 45° avec le tronc et orientées vers le haut. <u>Forme libre, port non érigé</u> : arbre non fastigié, branches insérées sur le tronc avec un angle de plus de 45° avec le tronc. Pour un groupe d'arbres, on estime que le port des arbres peut être considéré comme non érigé si les houppiers sont continus. <u>Forme architecturée</u> : arbres taillés, qui ont donc une surface foliaire réduite par rapport à une forme libre non érigé, mais supérieure à une forme libre érigé. <u>Exception</u> : Pour un groupe d'arbres, on estime que le port des arbres peut être considéré comme non érigé si les houppiers sont continus.
Effet « écran » des houppiers (arbres) ou du feuillage (arbustes)	Dans le cas d'arbres ou d'arbustes groupés ou alignés, les houppiers/feuillages se touchent sur un plan vertical, pas d'ouverture dans la canopée ou pas plus de 20 % d'ouverture de la canopée par rapport à la surface totale verticale des houppiers.
Effet « toit » des houppiers (arbres)	Les houppiers se touchent horizontalement, pas d'ouverture dans la canopée ou pas plus de 20 % d'ouverture de la canopée par rapport à la surface totale de la canopée.
Composition floristique (arborée, arbustive et herbacée)	<u>Hétérogène</u> : lorsque moins de 50% des végétaux du groupe sont de même espèce. <u>Homogène</u> : lorsqu'au moins 50% des végétaux du groupe sont de même espèce.
Présence de bois morts ou de litière	Bois morts sur pieds ou tombés au sol. Litière issue de la décomposition des feuilles mortes ou bien d'un paillage réalisé au pied des arbres avec de la matière organique (copeaux de bois, écorces de Pin, BRF, lin etc.).
Traces d'humidité temporaire et/ou eau disponible pour la végétation	Présence d'un point d'eau perméable aux alentours de la végétation (plan d'eau, ripisylve, fleuve, fossé, noue). Présence de traces d'humidité à proximité de la végétation, en particulier au niveau du sol (traces d'hydromorphie, humidité du sol)
Type de toit	Indiquer si le toit végétalisé est : <u>Extensif</u> : présence uniquement d'une strate herbacée gérée de manière extensive ou non gérée du tout, souvent de plantes grasses et succulentes. Les toits extensifs ont un substrat peu profond (<15cm) <u>Semi-intensif</u> : présence possible de toutes les strates, la strate herbacée étant gérée de manière semi-intensive (15 à 30 cm).

	<u>Intensif</u> : présence possible de toutes les strates, la strate herbacée étant gérée de manière intensive (voir def.). Substrat profond (> 30 cm).
Pente d'un toit végétalisé	Indiquer si le toit est plat (pente nulle) ou pas (présence d'une pente). Le pourcentage de pente n'est pas à indiquer.
Présence d'eau permanente	Indiquer par oui ou par non la présence d'un point d'eau : Plan d'eau : un point d'eau stagnante et perméable Bassin : un point d'eau stagnante et imperméable Ripisylve : point d'eau correspondant à un cours d'eau ou fleuve, fossé, perméable Canal : point d'eau équivalent à un cours d'eau, imperméable Noue : espace linéaire végétalisé avec un léger dénivelé, servant pour le stockage et l'infiltration des eaux pluviales. Perméable.
Ensoleillement d'un point d'eau	Indiquer si le point d'eau est : <u>Ouvert</u> : 75 à 100% de la surface en eau est ensoleillée ou non recouverte par le feuillage de la végétation. <u>Mi-ouvert</u> : entre 25 et 75 % de la surface de l'eau est ensoleillée ou non recouverte par le feuillage de la végétation. <u>Fermé</u> : moins de 25% de la surface de l'eau sont ensoleillés ou non recouverte par le feuillage de la végétation.
Point d'eau associé/dissocié d'un bassin versant ou impluvium	Présence d'une légère pente inclinée vers le point d'eau ou d'un dispositif d'acheminement de l'eau (petit caniveau) de sorte que l'eau peut ruisseler et être stockée dans le point d'eau
Profondeur d'un point d'eau	Indiquer si le point d'eau est : <u>Profond</u> : de plus d'un mètre de profondeur. <u>Peu profond</u> : de moins d'un mètre de profondeur.
Perméabilité d'un point d'eau	Indiquer si le point d'eau est perméable ou imperméable, en observant certains signes comme la présence d'une bâche d'imperméabilisation, d'un revêtement en béton ou ciment sur les bords du point d'eau, la présence de terre perméable au niveau des berges et du reste du cours d'eau.
Plantes macrophytes/hydrophytes	<u>Plante macrophyte</u> : plante qui vit dans les milieux aquatiques mais dont tout ou partie des organes aériens (feuilles et tiges) sont émergés. <u>Plante hydrophyte</u> : plante inféodée au milieu aquatique dont l'ensemble des feuilles et tiges (et racines) est immergé.

Annexe 4 : Typologie fonctionnelle des points d'eau



Annexe 5 : Typologie fonctionnelle des toits végétalisés



Annexe 6: Tableau de pondération des critères de description de la végétation urbaine par fonction écosystémique

	Critères de description	Climat urbain	Empreinte carbone	Qualité de l'air	Consommation énergétique	Hydrologie et qualité de l'eau	Ecologie
Espace végétalisé	Strate arborée	3	3	3	3	3	3
	Densité des arbres	3	3	3	3	3	1
	Persistance du feuillage	3	0	3	3	3	0
	Dimensions des arbres	3	3	3	3	3	0
	Forme des arbres	3	0	3	3	3	0
	Mode de gestion	0	3	0	0	3	0
	Effet « toit » des houppiers	3	0	3	3	0	0
	Effet « écran » des houppiers	3	0	3	3	0	0
	Composition floristique	0	0	1	0	0	3
	Strate arbustive	2	2	2	2	2	3
	Densité des arbustes	2	2	2	2	2	1
	Persistance du feuillage	2	0	2	2	2	0
	Mode de gestion	0	2	0	0	3	0
	Composition floristique	0	0	1	0	0	3
	Effet « écran » du feuillage	0	0	2	0	0	0
	Strate herbacée	1	1	1	1	1	3
	Mode de gestion	1	3	1	1	1	3
	Composition floristique	0	0	1	0	0	3
	Bois mort ou litière	0	3	0	0	0	3
	Humidité temporaire du sol	3	3	3	3	3	3
Toit végétalisé	Type de toit	3	3	3	3	3	3
	Pente du toit	0	0	0	0	3	0
Point d'eau	Présence d'un point d'eau permanente	3	0	0	3	3	3
	Perméabilité du point d'eau	0	0	0	0	3	0
	Profondeur du point d'eau	0	0	0	0	3	0
	Ensoleillement ou l'ouverture du point d'eau	0	0	0	0	3	0
	Impluvium vers le point d'eau	0	0	0	0	3	0
	Végétation macrophyte ou hydrophyte (point d'eau)	0	0	0	0	3	3

Annexe 7 : Fiches de relevés de terrain de la végétation, des toits végétaux et des points d'eau

Fiche relevé Végétation

Site :

Groupes de végétation	strate arborée	arbres groupés/isolés	persistance du feuillage	dimensions arbres	forme arbres	arbres taillés/non taillés	composition floristique arborée	effet "écran" des houppiers	effet "toit" des houppiers
1	Présente	Groupés	Persistant	1	Non érigé	Non taillés	Hétérogène	Non	Non
2	Présente	Isolé	Caduc	3	Erigé	Non taillés	-	-	-
3	Absente	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Absente	-	-	-	-	-	-	-	-

Groupes de végétation	strate arbustive	arbustes isolés/groupés	persistance du feuillage	arbustes taillés/non taillés	composition floristique arbustive	Effet écran du feuillage	strate herbacée	gestion strate herbacée	composition floristique herbacée	bois mort ou de litère	traces d'humidité temporaire
1	Absente	-	-	-	-	-	Présente	Extensif	Hétérogène	Non	Non
2	Absente	-	-	-	-	-	Présente	Semi-intensif	Hétérogène	Non	Oui
3	Présente	Groupés	Persistant	Taillés	Homogène	Oui	Présente	Semi-intensif	Hétérogène	Non	Non
4	Absente	-	-	-	-	-	Présente	Intensif	Homogène	Non	Non

Fiche relevé toits végétaux

Toits	type de toit	toit en pente
1	Extensif	Oui
2	Semi-intensif	Non

Fiche relevé Point d'eau

Site :

Point d'eau	présence d'eau permanente	point d'eau imperméable/perméable	profondeur du point d'eau	présence d'un impluvium ou bassin versant	ensoleillement	végétation macrophyte et/ou hydrophyte dans le point d'eau
1	Oui	Perméable	Faible	Non	Nul	Non
2	Oui	Imperméable	Forte	Oui	Partiel	Oui

Annexe 8: Description de quelques types de végétation par strates et sous-strates

Toutes les strates

Type 121b, parc Balzac

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Deuxième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Oui
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Hétérogène
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Mode de gestion des arbustes	Non taillés
Composition floristique arbustive	Hétérogène
Effet « écran » du feuillage	Non
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Semi-intensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Non



Toutes les strates

Type 122ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Isolé
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Troisième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillé
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Mode de gestion des arbustes	Taillés
Composition floristique arbustive	Homogène
Effet « écran » du feuillage	Oui
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Extensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arborée dominante et sous-strate arbustive

Type 59b, parc Balzac

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Troisième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Non
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Homogène
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Mode de gestion des arbustes	Non taillés
Composition floristique arbustive	Hétérogène
Effet « écran » du feuillage	Non
Strate herbacée	Absente
Mode de gestion des herbacées	-
Composition floristique herbacée	-
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arborée dominante et sous-strate arbustive :

Type 81b, parc Balzac

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Isolé
Persistance du feuillage	Persistant
Dimensions des arbres	Première grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillé
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Persistant
Mode de gestion des arbustes	Non taillés
Composition floristique arbustive	Hétérogène
Effet « écran » du feuillage	Oui
Strate herbacée	Absente
Mode de gestion des herbacées	-
Composition floristique herbacée	-
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arborée dominante et sous-strate herbacée

Type 48ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Troisième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Non
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Hétérogène
Strate arbustive	Absente
Densité des arbustes	-
Persistance du feuillage	-
Mode de gestion des arbustes	-
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Semi-intensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arborée dominante et sous-strate herbacée

Type 77evb, parc Balzac

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Isolé
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Troisième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillé
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Absente
Densité des arbustes	-
Persistance du feuillage	-
Mode de gestion des arbustes	-
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Absente
Mode de gestion des herbacées	Semi-intensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arborée dominante, pas de sous-strate

Type 32ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Présente
Densité des arbres	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Dimensions des arbres	Deuxième grandeur
Forme des arbres	Non érigé
Mode de gestion des arbres	Non taillés
Effet « toit » des houppiers	Non
Effet « écran » des houppiers	Non
Composition floristique arborée	Homogène
Strate arbustive	Absente
Densité des arbustes	-
Persistance du feuillage	-
Mode de gestion des arbustes	-
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Absente
Mode de gestion des herbacées	-
Composition floristique herbacée	-
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arbustive dominante et sous-strate herbacée

Type 120ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Absente
Densité des arbres	-
Persistance du feuillage	-
Dimensions des arbres	-
Forme des arbres	-
Mode de gestion des arbres	-
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Isolé
Persistance du feuillage	Persistant
Mode de gestion des arbustes	Non taillé
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Extensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arbustive dominante et sous-strate herbacée

Type 113evb, parc Balzac

Strate arborée	Absente
Densité des arbres	-
Persistance du feuillage	-
Dimensions des arbres	-
Forme des arbres	-
Mode de gestion des arbres	-
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Mode de gestion des arbustes	Taillés
Composition floristique arbustive	Homogène
Effet « écran » du feuillage	Oui
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Semi-extensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Non



Strate arbustive dominante et sous-strate herbacée

Type 101ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Absente
Densité des arbres	-
Persistance du feuillage	-
Dimensions des arbres	-
Forme des arbres	-
Mode de gestion des arbres	-
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Présente
Densité des arbustes	Groupés
Persistance du feuillage	Caduc
Mode de gestion des arbustes	Non taillés
Composition floristique arbustive	Homogène
Effet « écran » du feuillage	Non
Strate herbacée	Absente
Mode de gestion des herbacées	-
Composition floristique herbacée	-
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Non



Strate herbacée dominante

Type 86ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Absente
Densité des arbres	-
Persistance du feuillage	-
Dimensions des arbres	-
Forme des arbres	-
Mode de gestion des arbres	-
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Absente
Densité des arbustes	-
Persistance du feuillage	-
Mode de gestion des arbustes	-
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Intensif
Composition floristique herbacée	Homogène
Bois mort ou litière	Non
Humidité temporaire du sol	Non



Strate herbacée dominante

Type 83ev, EVA-Lanxmeer

Strate arborée	Absente
Densité des arbres	-
Persistance du feuillage	-
Dimensions des arbres	-
Forme des arbres	-
Mode de gestion des arbres	-
Effet « toit » des houppiers	-
Effet « écran » des houppiers	-
Composition floristique arborée	-
Strate arbustive	Absente
Densité des arbustes	-
Persistance du feuillage	-
Mode de gestion des arbustes	-
Composition floristique arbustive	-
Effet « écran » du feuillage	-
Strate herbacée	Présente
Mode de gestion des herbacées	Extensif
Composition floristique herbacée	Hétérogène
Bois mort ou litière	Oui
Humidité temporaire du sol	Oui

