Urbanisation et santé : l'importance de la biodiversité

Léonore Chambres

▶ **To cite this version:**

Léonore Chambres. Urbanisation et santé : l'importance de la biodiversité . Sciences pharmaceutiques. 2017. dumas-01566220

HAL Id: dumas-01566220

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01566220

Submitted on 20 Jul 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE BORDEAUX

FACULTE DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES

Thèse n°71 de l'année 2017

Thèse pour l'obtention du

DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement
Le 6 Juillet 2017 à Bordeaux

Par **Léonore CHAMBRES**

URBANISATION ET SANTE : L'IMPORTANCE DE LA BIODIVERSITE

Sous la direction de Loïc RIVIERE, Maître de Conférences

Membres du Jury :

M. DECENDIT Alain, Président, Maître de Conférences
M. RIVIERE Loïc, Maître de Conférences
M. MASSE Arnaud, Docteur en Pharmacie

URBANISATION ET SANTE : L'IMPORTANCE DE LA BIODIVERSITE

URBANIZATION AND HEALTH : THE IMPORTANCE OF BIODIVERSITY

Résumé : Nous assistons à l'heure actuelle à une perte préoccupante de la biodiversité à l'échelle mondiale, rappelant les extinctions de masse survenues dans le passé. Ce déclin de la biodiversité apparaît particulièrement fort dans les milieux urbains qui entrainent une artificialisation importante des sols et une diminution des espaces verts. Or, la santé humaine est affectée à la fois par l'urbanisation croissante et la perte de la biodiversité, la présence de cette dernière pouvant influencer positivement différents facteurs de risques et pathologies par les services écosystémiques qu'elle fournit. Que ce soit au niveau de la pollution atmosphérique déclenchant allergies, asthme et autres maladies pulmonaires, de la qualité de l'alimentation qui va de pair avec celle des sols, des caractéristiques de la biodiversité du milieu dans lequel nous vivons jusqu'à l'impact psychologique de la proximité avec la nature, la préservation et l'intégration de la biodiversité en ville sont primordiales pour le bien-être et l'état de santé de tous. Ainsi, de nombreuses initiatives ont vu le jour dans le courant de la biophilie afin de végétaliser les villes de manière réfléchie et bénéfique pour les différents acteurs impliqués, notamment grâce à la conservation ou la création d'espaces verts ainsi qu'à la réalisation de plusieurs types d'infrastructures végétalisées tels que les façades, les murs et les toits des constructions urbaines. De plus amples recherches et expérimentations permettront d'aller vers cet idéal de cohabitation harmonieuse entre l'homme et la nature avec encore plus d'efficacité, dans une relation d'entre-aide plutôt que d'adversité.

Mots clés : Urbanisation – Biodiversité – Santé – Infrastructures végétalisées – Espaces verts urbains – Biophilie

Abstract : We are witnessing today an important loss of biodiversity worldwide, causing scientists to question its resemblance with mass extinctions of the past. This decline of biodiversity appears particularly strong in urban areas that lead to artificial land and a diminution of green spaces. The human health is affected by both the increasing urbanization and the loss of biodiversity, the latter of which could, if preserved and restored, positively influence various risk factors and diseases through the ecosystem services provided. Whether it be through air pollution affecting allergies, asthma and other respiratory conditions, food quality linked to the richness of soils, the characteristics of biodiversity in our surroundings, to the psychological impact of nature's proximity, the preservation and integration of biodiversity in cities are crucial for the health and well-being of all. Many initiatives following the principle of biophilia have already been conducted in order to green the cities in a balanced and beneficial way for every stakeholder, for instance through the conservation or creation of green spaces as well as different types of green infrastructures such as green facades, walls and roofs. More research and experimentation will allow going with a greater efficiency towards this ideal of harmonious cohabitation between mankind and nature, based in mutual aid instead of adversity.

Key-words : Urbanization – Health – Biodiversity – Green infrastructures – Urban green space - Biophilia

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier le directeur de cette thèse, Monsieur Loïc Rivière, pour avoir accepté cette responsabilité avec enthousiasme et curiosité pour ce sujet original, ainsi que pour sa patience, ses encouragements et ses conseils jusqu'à l'aboutissement de ce long travail, dont il me fait l'honneur de participer au Jury de soutenance.

Mes remerciements vont également à M. Alain Decendit pour m'avoir fait l'honneur d'accepter avec gentillesse et humour de présider le Jury de soutenance de ma thèse, et à M. Arnaud Massé pour m'avoir accueillie dans son officine dès le début de mes études pour mon stage officinal de première année, puis celui de sixième année, et me faire enfin l'honneur d'être membre de mon Jury de thèse. Son ouverture d'esprit et sa sollicitude m'ont toujours beaucoup touchée et je suis ravie qu'il soit acteur dans la dernière étape de mes années universitaires.

Je souhaite adresser un remerciement particulier à M. Gilbert Haumont qui m'a proposé d'écrire sur la santé et la biodiversité pour cette thèse, un thème qui a trouvé une résonnance particulière en moi, avant de se retirer pour un repos bien mérité loin des bancs de l'Université où il a grandement contribué à porter la voix de la nature, des écosystèmes, et de toutes les formes de vie sur Terre. J'espère que mon travail aura fait honneur à ses valeurs et son implication pour l'écologie et la biodiversité.

Je tiens également à remercier chaleureusement ma famille qui m'a épaulée lors de ce travail, tout particulièrement ma mère Isabelle Godicheau, pour son soutien indéfectible et ses nombreux sacrifices pour me donner le temps de me consacrer à mes recherches et à la rédaction de cet ouvrage, ainsi que tous mes amis qui m'ont toujours beaucoup encouragée. J'adresse une dédicace spéciale à mes collègues de la Pharmacie Issard, en particulier Angélique Alfageme pour ses rappels réguliers qui ont contribué à leur manière à la réalisation de cette thèse.

Enfin, je souhaite exprimer une pensée pour mes amis de pharmacie pour tout ce que nous avons partagé et traversé ensemble, Lise Deval, Carine Berho, Céline Chessa et Marion Andrès tout particulièrement, qui resteront dans mon cœur quoiqu'il arrive, où que nous nous trouvions.

TABLE DES MATIERES

URBANISATION ET SANTE : L'IMPORTANCE DE LA BIODIVERSITE 1
REMERCIEMENTS 3
TABLE DES MATIERES 4
INTRODUCTION 7
PARTIE I – ÉTAT DES LIEUX DE LA BIODIVERSITÉ 8
1) Étymologie et historique de la biodiversité 8
2) Définition de la biodiversité 8
3) Les différentes composantes de la biodiversité 9
a. Biodiversité et écosystème 9
b. Fonctionnement des écosystèmes 9
c. Mesures et estimations de la biodiversité 10
i. Gradients de répartition spatiale de la biodiversité 11
ii. Zones de grande diversité 13
a. Services rendus par les écosystèmes 14
b. Influence de la biodiversité sur l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes 18
5) Evolution de la biodiversité 21
6) Impacts de l'homme sur la biodiversité et les écosystèmes 23
7) Place de la biodiversité dans les recommandations internationales et les objectifs de développement durable 26
a. Objectifs internationaux 26
b. Politique nationale française 29
8) Relation entre l'Homme et la Biodiversité 31
9) Enjeux actuels 33
PARTIE II – IMPACT DE LA BIODIVERSITE SUR LA SANTE HUMAINE 34
1) Maladies non transmissibles 34
a. Asthme et autres pathologies pulmonaires 34
i. Pollution de l'air 34
ii. Effets bénéfiques de la biodiversité 35
b. Maladies cardiovasculaires 36
i. Pollution atmosphérique 36
ii. Etat psychologique 37
iii. Proximité avec des espaces verts publics 37
c. Surpoids et obésité 37
d. Autres facteurs de risque 39
i. Exercice physique et sédentarité 39
ii. Alimentation 40
e. Allergies et maladies immunitaires 42

2) Santé mentale 42
a. Gestion du stress 42
b. Autres états émotionnels 44
c. Troubles de l'attention 45
i. Capacité attentionnelle 45
ii. Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité 46
iii. Synthèse 48
d. Estime de soi 48
4) Maladie d'Alzheimer et autres démences cérébrales 50
5) Gestion de la douleur et durée d'hospitalisation après chirurgie 50
6) Espèces opportunistes et maladies infectieuses 51
7) Synthèse de l'impact de la biodiversité sur la santé humaine 52
PARTIE III – REINTEGRER ET PROTEGER LA BIODIVERSITE EN VILLE 55
1) Protection, conservation et restauration des zones naturelles non urbaines . 55
2) Conservation des zones naturelles péri-urbaines 58
a. Forêts de protection 58
b. Limitation de l'étalement urbain 59
c. Stratégies d'urbanisation axées sur la conservation 59
3) Création de continuités écologiques 63
a. Corridors écologiques 63
b. Réseau écologique 64
c. Autres aménagements 67
i. Passages fauniques 67
ii. Haies 67
4) Espaces aquatiques 67
a. Ruisseaux, canaux, rivières et fleuves 68
b. Etangs et mares 70
d. Réservoirs et lacs 72
f. Zones humides 75
5) Espaces publics ouverts 75
a. Parcs urbains et jardins publiques 75
b. Places et zones de loisirs 77
c. Parkings 77
d. Rues 77
6) Espaces inutilisés 79
a. Friches industrielles 79
b. Anciennes décharges publiques 80
c. Anciens chemins de fer 80
7) Espaces privés 83

8) Agriculture urbaine et péri-urbaine 84
9) Infrastructures vertes 87
a. Murs végétalisés 87
b. Toits végétalisés 90
10) Conception des espaces verts 91
a. Caractéristiques des espèces 91
b. Variété des espèces et habitats 92
c. Coopération multidisciplinaire de tous les acteurs impliqués 93
11) Entretien durable des espaces verts pour favoriser la biodiversité 93
a. Utilisation des produits phytosanitaires 93
b. Pratiques durables de taille 94
12) Dispositifs encourageant la faune à vivre en ville 95
13) Programmes d'éducation de la population 96
a. Connaissance et valeur de la biodiversité et de la nature « sauvage » 96
b. Participation aux programmes d'urbanisation et de végétalisation urbaine.. 96
DISCUSSION 97
CONCLUSION 100
BIBLIOGRAPHIE 101

INTRODUCTION

La perte de la biodiversité est un enjeu mondial majeur. Nous assistons en effet à l'heure actuelle à une extinction rapide de biodiversité ayant conduit scientifiques et écologistes à se mobiliser depuis maintenant plusieurs dizaines d'années afin de tirer la sonnette d'alarme et d'appeler les institutions politiques et économiques à prendre en compte cette destruction de notre biosphère. Cet enjeu est désormais reconnu publiquement et les préoccupations environnementales se font de plus en plus présentes, en particulier en regard de l'urbanisation croissante qui conduit à une artificialisation des terres importantes, contribuant à ce déclin de la diversité biologique. Malgré tout, les décisions sont difficiles à prendre et leur mise en place se fait à un rythme qui ne permet pas d'inverser la tendance, alors que l'urbanisation bat son plein.

En effet, les chiffres prévisionnels attestent que d'ici 2050, deux tiers de la population mondiale vivra en zone urbaine (United Nations, 2014) et une partie conséquente de ces zones urbaines ne sont pas encore construites. Il est donc impératif de réfléchir dès à présent à une autre vision de la ville et de poursuivre les initiatives qui ont été mises en place depuis plusieurs années, pour réaliser une construction dans la coopération avec la nature, respectueuse de l'environnement et permettant la conservation optimale de la biodiversité.

La santé humaine est influencée par un grand nombre de facteurs, dont l'environnement fait partie intégrante. Ainsi, l'urbanisation et la perte de biodiversité posent toutes deux la question des conséquences sur la santé. Que ce soit en termes de pollution atmosphérique, de vie sédentaire, de manque de contact avec la nature, ou bien de qualité de la nourriture et de transmission de maladies infectieuses, le milieu urbain et la présence de biodiversité ont le potentiel d'affecter de manière positive ou négative le bien-être et la santé des citadins. Les services écosystémiques fournis par la biodiversité en ville peuvent alors proposer une amélioration de certains facteurs de risque, et influencer positivement le bien-être de la population. L'importance de conserver et d'inclure la biodiversité dans les zones urbaines apparaît alors d'autant plus cruciale.

Lors de ce travail, je vais tout d'abord établir un état des lieux de la biodiversité à l'heure actuelle, en particulier dans le cadre des zones urbaines. Puis j'aborderai l'importance de la relation entre la santé et la biodiversité en mettant l'accent sur le milieu urbain. Enfin, je traiterai des différentes manières de conserver ou réintégrer la biodiversité dans les villes.

PARTIE I – ÉTAT DES LIEUX DE LA BIODIVERSITÉ

1) Étymologie et historique de la biodiversité

Le terme biodiversité provient de la contraction de l'expression diversité biologique. Il est officiellement apparu dans le titre du Forum National sur la BioDiversité tenu en 1986 à Washington D.C. (Smithsonian Institution Archives, 1986), co-sponsorisé par le Smithsonian's Directorate of International Activities et la National Academy of Science et dans lequel ont été invités à parler des scientifiques tels que Edward O. Wilson, Paul Ehrlich et Stephen Jay Gould.

Certains pensent que la première utilisation informelle remonte cependant à la préparation de ce forum en 1985 et aurait été suggérée par Walter Rosen du National Research Council. Il apparaît également dans le livre Biodiversity d'Edward O. Wilson sorti en 1988.

Ce terme et les problèmes environnementaux qu'il met en avant vont prendre de plus en plus de place dans les discussions scientifiques et internationales au cours du temps, avec une reconnaissance majeure lors de l'établissement et de la ratification de Convention sur la Diversité Biologique par les Nations Unies en 1992 lors de la Conférence des Nations unies sur l'environnement à Rio de Janeiro au Brésil.

2) Définition de la biodiversité

Etant une contraction de l'expression diversité biologique, la biodiversité peut être définie de la manière la plus simple par la diversité du vivant sous toutes ses formes (Levêque et Mounoulou, 2001).

Selon le Millennium Ecosystem Assessment (2005) et la Convention sur la Diversité Biologique des Nations Unies (1992), la biodiversité est définie comme la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.»

Cette définition attire l'attention sur les nombreuses dimensions de la biodiversité, celle-ci pouvant être génétique en évaluant la diversité des gènes au sein d'une même espèce, la diversité spécifique qui correspond à la diversité des espèces, et la diversité écosystémique décrivant les différents habitats, communautés biologiques et processus écologiques ainsi que les variations entre les différents écosystèmes (United Nations Environment Program, 2017). Ces composantes de la biodiversité ne sont pas figées et évoluent dans le temps et l'espace.

La Biodiversité comprend tous les écosystèmes, qu'ils soient entretenus ou non. Que les territoires soient de nature sauvage ou de nature contrôlée, telle que les parcs publics, les terres agricoles, ou même les zones urbaines, tous ont un écosystème qui leur est propre et dont l'équilibre dépend de nombreux facteurs associés en grande partie à la biodiversité.

3) Les différentes composantes de la biodiversité

a. Biodiversité et écosystème

Pour mieux comprendre la définition de la biodiversité et ses différentes composantes, il est important de s'intéresser à une seconde définition : celle de l'écosystème. Toujours selon la Convention sur la Diversité Biologique et en accord avec la définition de Tansley en 1935 qui fut le premier à l'établir, l'écosystème se définit comme « le complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle. », ou formulé selon le dictionnaire français Larousse, un système formé par un environnement (biotope) et par l'ensemble des espèces (biocénose) qui y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent.

Cette définition met en avant l'interconnexion entre les différents règnes du vivant ainsi que leur environnement, suggérant que l'équilibre de l'un est directement ou indirectement dépendant de celui des autres. Cela peut être interprété comme le signe d'une évolution de la vision séparée de l'homme et de la nature vers une reconnaissance de leurs liens et la promotion d'une intégration harmonieuse et holistique entre les deux.

Une telle reconnaissance apparaît notamment dans les Décisions de la cinquième réunion de la Conférence des Parties de la Convention sur la Diversité biologique ayant eu lieu à Nairobi au Kenya en mai 2000 (COP 5, 2000) sur l'approche écosystémique, dont une des sous parties reconnaît que « les humains, avec leur diversité culturelle, sont une composante intégrale de nombreux écosystèmes. »

Selon les biologistes, l'ensemble des organismes vivants qui peuplent la surface de la Terre forment la biosphère, sorte d'écosystème ultime regroupant tous les écosystèmes de la planète. Cependant, ce terme peut également être élargi à la pellicule superficielle de la Terre qui renferme les êtres vivants et permet la vie en permanence, comprenant une partie de l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère (Levêque et Mounoulou, 2001).

b. Fonctionnement des écosystèmes

Le fonctionnement d'un écosystème est dynamique et complexe, évoluant dans le temps et l'espace (Levêque et Mounoulou, 2001 ; The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010).

Il est caractérisé par trois caractéristiques principales :

- un flux d'énergie circulant entre les organismes vivants ; en effet, l'énergie solaire est accumulée et transformée par les végétaux par photosynthèse, ainsi rendue disponible pour les animaux qui l'utilisent, puis recyclée sous forme de matière organique par les décomposeurs.

- un flux de matière sous forme de substances alternativement minérales et organiques (eau, carbone, oxygène, azote, phosphore…) à l'origine de cycles géochimiques

- des chaînes alimentaires qui sont les moteurs des flux d'énergie et de matière, structurant l'écosystème en niveaux trophiques

Il apparaît évident, en observant ces trois paramètres, que l'équilibre des écosystèmes dépend de chaque élément le constituant et des interconnexions entre ces différents éléments, les êtres humains en faisant étroitement partie.

c. Mesures et estimations de la biodiversité

Mesurer la biodiversité est une tâche complexe. Malgré de nombreuses estimations, il est impossible d'établir de manière exacte le nombre d'espèces existantes et celles susceptibles de disparaître ou ayant déjà disparu. Cependant, il est nécessaire d'étudier l'évolution de la biodiversité, sa répartition et les facteurs qui l'influencent afin de pouvoir établir des recommandations de conservation et de développement durable effectives.

Différentes façons de mesurer la biodiversité et les facteurs l'influençant existent et sont utilisées par les chercheurs. L'uniformité et la comparaison des résultats est donc d'autant plus difficile que les méthodes diffèrent.

Typiquement, trois critères majeurs pour décrire la biodiversité sont utilisés : la variété ou richesse, la composition et la distribution (Peh et al., 2015). Une des méthodes les plus classiques de mesure consiste ainsi à évaluer tous les aspects de la biodiversité dans un système donné, même si c'est une tâche particulièrement complexe. Sont ainsi estimés de nombreux indicateurs tels que la richesse en espèces présentes, la densité relative de chaque espèce, les caractéristiques génétiques, ou bien l'identification de la diversité des habitats (Levêque et Mounoulou, 2001).

Plusieurs échelles spatiales peuvent être utilisées afin de caractériser cette biodiversité : la diversité alpha qui mesure la richesse au sein d'une seule communauté, la diversité bêta qui correspond au changement de la composition d'espèces au sein de différentes communautés, soit dans une aire géographique particulière, soit le long d'un gradient, et la diversité gamma qui caractérise la richesse d'une région comprenant plusieurs communautés (Willig et al., 2003).

Au-delà de la diversité des espèces en tant que telle, un autre facteur apparaît jouer un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes : la diversité fonctionnelle. Celle-ci serait même plus importante pour un meilleur fonctionnement des écosystèmes, en particulier en ce qui concerne leur productivité (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010). Ainsi, de nouvelles caractéristiques des espèces basées sur leurs traits plutôt que leur taxonomie sont désormais utilisées afin de déterminer au mieux cette diversité fonctionnelle, telles que les caractéristiques morphologiques ou la capacité locomotrice (Mindel et al., 2016). Le but de cette approche serait entre autres de déterminer les différences et similitudes de fonctionnement et de rôles entre des espèces différentes, étant donné qu'une haute diversité en espèces n'est pas nécessairement synonyme d'un écosystème plus varié si leurs rôles et fonctionnement se superposent.

Ainsi, l'évaluation de la biodiversité est un énorme champ d'investigation qui a longtemps été controversé ou bien laissé de côté. Cependant, de récents travaux nous offrent une idée plus précise de la richesse de la vie qui nous entoure. En effet,

en 2016, Locey et Lennon ont estimé le nombre d'espèces microbiennes présentes sur Terre à pas moins de 10^{11} à 10^{12} espèces, 99,999% étant encore inconnues.

Les espèces eucaryotes ont pour la plupart été plus étudiées, même si une grande majorité reste toujours à découvrir, en particulier dans les milieux difficilement accessibles comme les fonds marins. Selon certaines estimations, le total des espèces eucaryotes existant à l'heure actuelle atteindrait 8,7 millions dont environ 2,2 millions d'espèces marines (Mora et al., 2011). La proportion des espèces restant à décrire pourrait s'élever à 86% pour les espèces terrestres et jusqu'à 91% des espèces marines, selon les mêmes auteurs. En effet, seulement 1,736,081 d'espèces eucaryotes sont connues à l'heure actuelle selon l'Union Internationale de Conservation de la Nature (International Union for Conservation of Nature, 2016).

Au-delà des estimations globales de la biodiversité, il est possible de s'intéresser à la répartition spatiale des espèces. Malgré l'hétérogénéité des méthodes de mesure et d'estimation employées, des tendances apparaissent globalement, mettant en avant une répartition hétérogène sur la planète, mais suivant de manière plus ou moins régulière des gradients de répartition spatiale dépendant de différents facteurs (Gaston, 2000).

i. Gradients de répartition spatiale de la biodiversité

Différents gradients de répartition ont été mis en évidence :

- Gradient latitudinal

Le gradient de répartition le plus étudié et communément accepté est le gradient latitudinal. En effet, la biodiversité très riche des régions tropicales (Gaston, 2000) est une source de fascination sans limite. La théorie la plus employée et étayée par de nombreuses mesures est celle d'une association négative entre la latitude et la richesse d'espèces, ce qui se traduit par une diversité plus importante au niveau de l'Equateur et diminuant en allant vers les pôles (Levêque et Mounoulou, 2001 ; Willig et al., 2003).

Cette théorie a été extensivement documentée à différentes latitudes, et pour de nombreux groupes d'espèces majeurs, qu'elles soient marines ou terrestres, notamment en ce qui concerne les plantes, arbres, mollusques, arthropodes, poissons, oiseaux et mammifères (Gaston, 2000 ; Willig et al., 2003).

Elle est cependant controversée étant donné qu'un certain nombre d'exceptions ont été mises en évidence, en particulier concernant une variation restreinte de la latitude, les espèces parasites, la flore aquatique, certains groupes d'oiseaux et de mammifères marins (Willig et al., 2003) ainsi que certaines espèces d'insectes ou de végétation terrestre (Peh et al., 2015). Sa généralisation est donc à regarder avec prudence, certaines asymétries ayant également été pointées du doigt entre l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud (Gaston, 2000).

- Gradient altitudinal

Un second gradient relativement bien étudié est celui de l'altitude, qui présente généralement un pic de richesse à élévation moyenne autour de 1000m (McCain, 2004).

- Gradient longitudinal

Le gradient longitudinal s'exprime par exemple par la variation de biodiversité des coraux qui augmente en allant des Caraïbes vers l'Indonésie (Levêque et Mounoulou, 2001).

Cependant, il apparaît assez peu étudié et ne permet pas d'en faire une généralisation fiable.

- Gradient de profondeur en milieu aquatique

Alors que l'hypothèse la plus généralement admise est celle d'une richesse réduite en milieu hauturier augmentant vers le milieu côtier (Levêque et Mounoulou, 2001), particulièrement à cause de la diminution de ressources accessibles et des conditions environnementales de plus en plus extrêmes lorsque la profondeur augmente, d'autres évidences apparaissent soutenant l'hypothèse inverse. De telles mesures indiquent notamment une relation linéaire entre la richesse d'espèces marine et la profondeur de la pente continentale étudiée, les deux augmentant proportionnellement, au moins jusqu'à environ 1500 mètres de profondeur (Mindel et al, 2016). La diversité fonctionnelle, particulièrement intéressante pour caractériser les milieux marins profonds, a quant à elle présenté son taux le plus bas dans les zones marines les plus superficielles ainsi que les plus profondes selon la même étude, allant de pair avec la diversité de taille des animaux marins étudiés.

Les auteurs de cette étude proposent d'expliquer ces résultats par plusieurs facteurs possibles, dont une quasi absence de pêche au-delà de 1200m dans la région étudiée, diminuant ainsi l'impact des activités humaines, mais également par une vitesse de spéciation plus importante dans des profondeurs commençant à 1000m.

- Gradient urbain

Désormais, en raison de l'accélération du taux d'urbanisation et de la transformation de l'environnement qui en découle, un autre gradient est apparu dans la littérature scientifique, le gradient urbain qui caractérise la diversité biologique entre les territoires ruraux et urbains. Ce gradient vient du fait que les zones de végétation naturelle non modifiée deviennent de plus en plus réduites et fragmentées lorsque la densité des habitations humaines et l'artificialisation des routes augmentent, entrainant différentes conséquences pour la biodiversité (Germaine et Wakeling, 2001).

Toutes les espèces n'ont pas la même capacité d'adaptation à l'environnement urbain. En effet, certaines espèces exploitent remarquablement bien cet habitat, tandis que d'autres sont sensibles à ne serait-ce que de faibles taux d'urbanisation. Entre les deux se trouve un éventail d'espèces à la capacité d'adaptation variable mais modérée (Germaine et Wakeling, 2001). La diversité le long de ce gradient est donc complexe à modéliser et non uniforme, et ne peut en aucun cas être réduite à la croyance attrayante qu'urbanisation rime nécessairement avec diversité biologique ou fonctionnelle amoindrie (McDonnell et al., 2008).

Dans le cas de nombreux groupes biologiques cependant, la richesse d'espèces se trouve réellement appauvrie avec l'urbanisation, en particulier pour les oiseaux, les mammifères et les reptiles (voir la synthèse effectuée par Ortega-

Alvarez et al., 2011) ainsi que dans les communautés de forêts urbaines et les populations de champignons et microarthropodes qui peuplent leurs sols (McDonnell et al., 2008).

Pour les arbres isolés, cette tendance peut varier. En effet, dans certains cas, la richesse des espèces natives et exotiques d'arbres au sein d'une agglomération apparaît plus importante à des niveaux d'urbanisation considérés comme moyens, c'est-à-dire dans des zones résidentielles, et non dans les zones moins urbanisées de la ville (Ortega-Alvarez et al., 2011). Ceci pourrait être expliqué par des facteurs culturels influençant la plantation des arbres au sein des villes, dont les espèces peuvent varier par rapport aux zones plus vertes. Il est important de noter que la densité des arbres, elle, est la plupart du temps plus importante dans les zones les moins urbanisées.

La diversité fonctionnelle peut quant à elle réserver quelques surprises. En effet, les forêts urbaines de l'étude précédemment citée présentaient, malgré une qualité de litière de feuilles amoindrie, une accélération de la décomposition de celle-ci ainsi que du taux de nitrification au niveau d'urbanisation le plus élevé par rapport aux forêts rurales.

- Mécanismes impliqués

Les mécanismes permettant d'expliquer ces variations de la répartition de la biodiversité selon les quatre premiers gradients ne sont pas encore très clairs. Cependant, de nombreuses hypothèses ont été émises et de plus en plus examinées. Les principales hypothèses investiguées concernent les caractéristiques de la région géographique notamment sa taille, la productivité, l'énergie disponible, la vitesse ou le taux de spéciation, les contraintes géométriques, les activités humaines mais également les relations entre la richesse locale et la richesse régionale ou encore le climat (Field et al., 2009 ; Gaston, 2000 ; Hua, 2004 ; McCain, 2004 ; Willig et al., 2003).

Mais aucune ne permettant à elle seule d'expliquer ces variations, celle qui semble se révéler la plus juste selon certains auteurs est l'hypothèse que ces tendances de répartition de la biodiversité soient en fait générées par différents mécanismes simultanément, se dirigeant dans la même direction (Gaston, 2000 ; Willig et al., 2003).

Dans le cas du gradient urbain, d'autres facteurs ont été mis en cause, notamment la température plus élevée et les différentes altérations de l'habitat des espèces, par exemple floristiques, spatiales, physionomiques ou encore humaines (Germaine et Wakeling, 2001 ; McDonnell et al., 2008 ; Ortega-Alvarez et al., 2011).

ii. Zones de grande diversité

La répartition de la biodiversité sur la planète Terre est donc hétérogène et varie en fonction de nombreux facteurs. Certaines zones contiennent des espèces particulièrement sensibles puisqu'elles ne se rencontrent qu'en un lieu donné et nulle part ailleurs. Ce phénomène est lié à l'isolement géographique de taxons qui se développent par la suite en système clos (Levêque et Mounoulou, 2001) et sont donc particulièrement exposés au risque d'extinction. Ces zones seront donc des zones de priorité écologique en termes de conservation et de préservation.

Parmi ces zones de grande diversité, certaines présentent une concentration extraordinaire d'espèces soumises à une perte accélérée d'habitat. Ces zones sont nommées « hotspots », ou points chauds en français, et sont souvent riches en espèces endémiques (Levêque et Mounoulou, 2001). Myers (2000), dans une démarche d'identifier les zones de priorité absolue afin de mettre en place des politiques de conservation les plus efficaces possibles, a proposé de définir les hotspots comme des zones présentant des concentrations exceptionnelles d'espèces endémiques confrontées à une perte exceptionnelle d'habitat. En utilisant cette définition, il a sélectionné les zones les plus sensibles, bénéficiant donc d'une attention prioritaire : Madagascar, les Philippines et Sundaland suivies de la forêt Atlantique du Brésil et des Caraïbes.

Selon ses estimations, 25 hotspots renfermaient à l'époque 44% des espèces de plantes vasculaires de la planète et 35% de ses vertébrés dans 1,4% de la surface terrestre.

Pour obtenir le statut de hotspot, la définition présentée par le site de Conservation International en 2017 impose aux régions de contenir au moins 1500 plantes vasculaires endémiques et un maximum de 30% de sa végétation naturelle d'origine. À l'heure actuelle, selon le Critical Ecosystem Partnership Fund travaillant en collaboration avec le Conservation International, 36 régions ont ce statut, représentent 2,3% de la surface terrestre et contiennent désormais plus de la moitié des espèces de plantes de la planète ainsi que 43% des espèces d'oiseaux, de mammifères, de reptiles et d'amphibiens. Au sein de ces 36 hotspots, 8 se trouvent en Afrique, 14 en Asie-Pacifique et 4 en Asie Centrale et en Europe, comprenant le bassin méditerranéen.

Parmi les espèces concernées ont été citées les trois quarts des espèces mammifères de Madagascar ainsi que les poissons Cichlidés qui peuplent les grands lacs d'Afrique de l'Est (Levêque et Mounoulou, 2001).

4) Le rôle de la biodiversité et des écosystèmes

a. Services rendus par les écosystèmes

Selon le Millennium Ecosystem Assessment (2005), les services rendus par les écosystèmes correspondent aux bénéfices que l'homme retire des écosystèmes. Une classification en quatre types de services est alors proposée : les services de provision qui correspondent aux produits obtenus à partir des écosystèmes, les services de régulation qui représentent les bénéfices obtenus à partir des processus de régulation de différents paramètres par les écosystèmes, les services culturels attestant des gains immatériels tirés des écosystèmes par l'enrichissement spirituel, le développement cognitif et les expériences de réflexion, de récréation et d'esthétisme, ainsi que les services de soutien nécessaires à la production de tous les autres services, dont les bénéfices pour l'homme sont souvent indirects et réalisés à long terme. Nombre de ces services sont liés entre eux.

Voici une liste non exhaustive des différents services fournis par les écosystèmes selon ce classement (Figure 1), obtenue à partir des données du Millennium Ecosystem Assessment (2005) enrichies d'études complémentaires (Costanza et al., 1997 ; The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010).

CATEGORIE DE SERVICE	SERVICE RENDU	EXEMPLES DE PARAMETRES INFLUENCES ET DE PRODUITS OBTENUS
SERVICES DE PROVISION	Nourriture	Plantes, animaux et microbes
	Matériaux et fibres	Bois, coton, lin, chanvre, soie…
	Carburant	Bois servant de source d'énergie
	Ressources génétiques	Gènes et information génétique utilisée pour les biotechnologies et l'élevage d'animaux ou la culture de plantes
	Ressources biologiques	Médicaments, molécules biochimiques, matériels biologiques
	Ressources ornementales	Vêtements à base de cuir par exemple, décorations telles que les fleurs et plantes d'intérieur, paysagisme
	Approvisionnement en eau	Réservoirs souterrains, aquifères
SERVICES DE REGULATION	Qualité de l'air	Emission et absorption de produits chimiques influençant la composition chimique de l'air telle la quantité d'ozone et de gaz à effets de serre ou encore le rapport oxygène/dioxyde de carbone
	Climat	Régulation de la température ou des précipitations, émission ou séquestration de gaz à effet de serre
	Eau	Régulation de la quantité de précipitations, de la survenue d'inondations, hydratation des sols (qui sont très influencés par les modifications des terres dues à l'urbanisation ou à l'exploitation agricole par exemple)

SERVICES DE REGULATION	Erosion	Capacité de rétention des sédiments, influence sur les glissements de terrain
	Purification de l'eau et traitement des déchets	Filtration, assimilation et/ou décomposition des composés organiques, détoxification, contrôle de la pollution
	Maladie	Abondance de pathogènes ou de vecteurs de maladies
	Nuisibles	Prévalence dans les élevages et les productions agricoles
	Pollinisation	Distribution, abondance et efficacité des pollinisateurs
	Catastrophes naturelles	Diminution de la gravité et des dommages causés par des ouragans ou des tsunamis présence de coraux ou mangroves par exemple
	Contrôle biologique	Interactions prédateur-proie
SERVICES CULTURELS	Diversité culturelle	Sociétés et cultures différentes selon le type d'écosystème
	Valeurs religieuses et spirituelles	Connexion à la nature
	Systèmes de connaissances traditionnelles et formelles	Cultiver la terre de façon traditionnelle
	Education formelle et informelle	Classes vertes
	Inspiration	Arts, folklores, symboles, architectures, divertissements
	Valeurs esthétiques	Choix de résidence, paysagisme
	Sensation d'appartenance à un endroit	Bien-être
	Relations sociales	Différents types et qualités de relations sociales selon le type d'écosystème

SERVICES CULTURELS	Héritage culturel	Paysages ou espèces significatives pour une société donnée
	Activités de récréation et écotourisme	Différents types d'activités selon les écosystèmes, par exemple plongée sous-marine sur la barrière de corail ou randonnée en montagne
SERVICES DE SUPPORT	Cycle de l'eau (ressource fondamentale à la vie)	Transpiration des plantes, activité racinaire
	Formation des sols	Fertilité des sols
	Photosynthèse	Production d'oxygène
	Production primaire	Assimilation ou accumulation d'énergie et de nutriments
	Cycles des nutriments	Stockage, traitement, acquisition du carbone, de l'azote et du phosphore
	Refuge pour les espèces résidentes ainsi que migratoires	Maintien de la diversité et conservation des espèces

Figure 1. Services fournis par les écosystèmes.

Selon le Millennium Ecosystem Assessment (2005), ces services faisant partie intégrante de la vie sur terre et de l'importance de la biodiversité sont liés de diverses manières aux constituants du bien-être de l'être humain tels que :

- la sécurité en termes de sécurité personnelle, d'accès aux ressources, d'exposition aux catastrophes naturelles ;
- les bases matérielles d'une vie correcte telles que des moyens d'existence adéquats, une nourriture suffisamment nutritive, un lieu de résidence, un accès aux produits ou marchandises ;
- la santé qui se manifeste notamment par une bonne condition physique, un état de bien-être et l'accès à un air et une eau purs et de qualité ;
- de bonnes relations sociales telles que le respect mutuel, la capacité d'aider les autres ainsi qu'une bonne cohésion sociale ;
- la liberté de choix et d'action qui correspond à la capacité d'être et de réaliser ce que les individus valorisent.

Ces services sont depuis longtemps reconnus par les scientifiques mais peinent à être pris en considération par les décisionnaires politiques, économiques et sociaux puisque leurs bénéfices ne s'apprécient souvent qu'à long terme et ne sont généralement pas monétisés. Or, l'influence de l'être humain perturbe un grand nombre de ces écosystèmes et il est capital que des décisions soient prises afin de contrôler ce phénomène et d'arriver à une utilisation et une interaction durables avec ces écosystèmes.

Ainsi, certains chercheurs se sont intéressés à la valeur économique des services écosystémiques afin de leur donner plus de poids dans les prises de décisions. Robert Costanza (2014) rappelle que les services rendus par les écosystèmes étaient évalués à 33 trillions de dollars par an en 1997 en utilisant la valeur de 1995 du dollar américain, ce qui correspond à 47 trillions de sa valeur de 2007, et fournit une nouvelle estimation allant de 125 à 145 trillions de dollars américains par an en 2011, selon les paramètres considérés, en gardant la valeur du dollar de 2007.

Il estime également la valeur de la perte de services écosystémiques due aux changements de terrain de 1997 à 2011 entre 4,3 et 20 trillions de dollars par an selon l'unité de valeur utilisée.

L'impact de ces estimations dans les prises de décisions est cependant incertain, mais elles permettent néanmoins de réaliser l'importance et l'amplitude de ces services pour la vie humaine.

b. Influence de la biodiversité sur l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes

Un écosystème peut être défini comme stable ou équilibré lorsqu'il présente une forte biodiversité, une grande résistance aux envahisseurs, un faible renouvellement des espèces et une structure trophique caractéristique (Sole et al., 2002).

Les services fournis par les écosystèmes interagissent entre eux de manière complexe, plusieurs de ces services étant liés entre eux et s'influençant mutuellement (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010). La plupart des études réalisées pour montrer l'influence de la biodiversité sur le fonctionnement des écosystèmes se sont focalisées sur des fonctions individuelles, montrant les effets positifs de la richesse d'espèces locale sur la plupart des fonctions individuelles (Pasari et al., 2013). Cependant toutes les études n'ont pas été aussi concluantes, ne permettant pas toujours de mettre en évidence une telle influence positive (Lefcheck et al., 2015).

C'est en s'intéressant à plusieurs fonctions simultanément que les résultats sont devenus beaucoup plus probants. En effet, il a été montré que les effets de la biodiversité sur les fonctions des écosystèmes apparaissent plus importants lorsque plus de fonctions sont considérées, attestant de l'importance de la biodiversité pour la multifonctionnalité des écosystèmes (Lefcheck et al., 2015 ; Pasari et al., 2013). Ainsi, des communautés riches en espèces tendent à maintenir des fonctions multiples à plus haut niveau que les communautés pauvres en espèces, ces effets s'étant montrés plus forts chez les herbivores que chez les plantes et remarquablement consistants à travers les habitats aquatiques et terrestres (Lefcheck et al., 2015).

Le rôle de la biodiversité, en particulier la diversité bêta qui correspond aux variations entre différentes communautés, apparaît également dans la garantie d'un niveau moyen de fonctionnement et ainsi la stabilité des écosystèmes malgré des environnements changeants, particulièrement lorsque ceux-ci ne peuvent bénéficier d'une grande richesse d'espèces (Pasari et al., 2013 ; The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010).

L'importance de la biodiversité pour la multifonctionnalité des écosystèmes se vérifie à la fois à l'échelle locale et régionale, ce qui n'est pas nécessairement le cas lorsque l'on mesure uniquement des fonctions individuelles, montrant l'importance de considérer les variations de biodiversité à différentes échelles pour une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes.

La conservation de la biodiversité apparaît donc particulièrement importante dans la gestion des systèmes naturels, à la fois à l'échelle des espèces individuelles qu'à travers une mosaïque de différents habitats contenant des communautés variées, afin de maintenir ou garantir de nombreuses fonctions écosystémiques à des niveaux optimaux, se traduisant par une augmentation des biens et services rendus par les écosystèmes.

Le Millennium Ecosystem Assessment (2005) apporte une voix supplémentaire dans ce sens, attestant que les ressources comme la résilience des écosystèmes sont grandement affectés par les changements de biodiversité. En effet, quand une espèce disparaît d'une certaine région, même si son extinction n'est pas globale, ou y est introduite, les divers services écosystémiques associés à cette espèce sont modifiés. Plus généralement, lorsqu'un habitat est modifié, une partie des services des écosystèmes présents est modifiée, présentant souvent des impacts directs et immédiats sur la population humaine.

Des changements de biodiversité ont également des impacts indirects sur les services écosystémiques sur de plus longues périodes, notamment sur la capacité des écosystèmes à s'adapter à des environnements changeants, causant des changements disproportionnellement grands et parfois irréversibles dans les processus écosystémiques. Ceci a des conséquences sur la transmission potentielle de maladies infectieuses ainsi que sur le risque d'échec de production dans un environnement variable et sur les impacts potentiels des nuisibles et pathogènes dans les systèmes agricoles.

Voici quelques exemples d'influence de la biodiversité sur les fonctions des écosystèmes (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010) :

- Productivité dans les systèmes terrestres :

La diversité des espèces présentes dans le sol est particulièrement liée à ce service. Une forte diversité des vers de terre a par exemple été associée à une meilleure production agricole, par de possibles mécanismes de libération de nutriments venant de la décomposition dans les sols, d'amélioration mutuelle avec d'autres organismes, d'effets sur la structure du sol ou de protection contre les maladies.

D'après une synthèse de la littérature de l'époque, Balvanera et al (2006) ont pu réunir différents effets de la diversité végétale en rapport avec la productivité, notamment l'augmentation de la biomasse microbienne et des plantes souterraines,

des effets positifs sur les fonctions de décomposition avec une augmentation des nutriments stockés dans le compartiment végétal de l'écosystème, la diminution des dommages causés par les nuisibles ainsi qu'une diminution de l'abondance, de la survie, de la fertilité et de la diversité des espèces invasives.

- Régulation de la qualité de l'air et de l'environnement urbain

Les arbres urbains ont été associés à la capture de plusieurs milliers de tonnes de polluants atmosphériques par an ainsi qu'à la réduction du bruit et des îlots de chaleur urbains en influant sur la température, notamment grâce aux murs et toits végétaux, de manière particulièrement efficace dans le cas de climat chaud et sec. Ils sont également susceptibles d'influer positivement sur le changement climatique par la séquestration d'une quantité non négligeable de carbone.

- Maintien de la qualité des sols

La biodiversité a un impact important sur les cycles de nutriments. Par exemple, les symbiotes microbiens sont impliqués dans une meilleure productivité agricole par une augmentation de nutriments disponibles dans les végétaux, en particulier l'azote grâce à sa fixation par des bactéries telles que *Rhizobium*, et le phosphore grâce à des champignons mycorhiziens. Ceci fait partie des arguments en faveur d'une agriculture durable qui travaille en synergie avec la biodiversité afin de produire des résultats satisfaisants tout en préservant les écosystèmes.

- La pollinisation

La pollinisation est un service absolument crucial pour la survie des espèces, l'homme y compris. Une grande proportion de plantes, qu'elles soient sauvages, utilisées dans l'agriculture ou pour la fabrication de médicaments, dépend de la pollinisation pour leur reproduction. Les abeilles font partie des insectes domestiques utilisés dans les exploitations agricoles, mais l'importance des animaux pollinisateurs sauvages, tels que les oiseaux, les chauves-souris, les mouches et autres insectes, pour la production agricole est de plus en plus reconnue.

L'agriculture industrielle et la perte d'habitat entrainent une perte de biodiversité dans les agroécosystèmes, affectant le maintien des systèmes de pollinisation et provocant la perte de pollinisateurs à l'échelle mondiale. En effet, un appauvrissement de la diversité des pollinisateurs pourrait résulter en une diminution des récoltes agricoles ou horticoles. À l'inverse, la conservation de pollinisateurs sauvages à proximité des champs agricoles entraine une augmentation du niveau ainsi que de la stabilité des services de pollinisation, aboutissant à des récoltes et des revenus plus importants.

Enfin, l'éloignement entre différents fragments de forêt montre une réduction de l'abondance ainsi que de la richesse d'espèces des pollinisateurs. Il est important de conserver ou fournir aux pollinisateurs l'habitat dont ils ont besoin pour vivre afin de préserver ce service essentiel. En ville, il est possible d'effectuer de l'apiculture notamment sur les toits, et une politique qui favorise les plantations fleuries pourra contribuer au maintien de ces pollinisateurs en environnement urbain.

- Services culturels, récréatifs et liés au bien-être

De nombreux services culturels sont associés aux régions urbaines, la biodiversité ayant un impact positif sur le bien-être des populations, telles que jardins et parcs. Ceux-ci sont plus fortement associés à des zones semi-naturelles, moins construites même si cela peut varier au sein de l'environnement urbain.

5) Evolution de la biodiversité

L'histoire nous enseigne que l'évolution de la vie est rythmée par les phénomènes d'extinction et de spéciation des espèces, à des taux différents selon les périodes de l'histoire, la spéciation étant le processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent.

L'extinction des espèces n'est donc pas un phénomène récent, et plusieurs extinctions massives ont eu lieu au cours de l'histoire, dont la plus célèbre est celle de la fin du Crétacé il y a environ 66 millions d'années, ayant eu pour conséquence l'extinction des dinosaures non aviaires (Brusatte et al., 2015). Les extinctions de masse sont définies par les archéologues comme la perte de plus des trois quarts des espèces présentes sur la Terre dans un intervalle de temps géologiquement court (Barnosky et al., 2011). L'extinction de masse la plus spectaculaire depuis l'apparition de la vie sur Terre a eu lieu à la fin du Permien il y a approximativement 251 millions d'années, éradiquant presque entièrement toute forme de vie et laissant les écosystèmes dévastés, autant en milieu terrestre qu'en milieu marin (Sahney et Benton, 2008). Elle fait partie, avec celle de la fin du Crétacé, des cinq extinctions répondant à cette définition dans les derniers 540 millions d'années (Barnosky et al., 2011).

Or à l'heure actuelle, nous assistons à une perte de biodiversité importante et récente qui interpelle la communauté scientifique et amène à poser la question d'une sixième extinction de masse (Barnosky et al., 2011). En effet, la biodiversité globale affiche depuis le siècle dernier une forte diminution avec des pertes substantielles et continues de populations, d'espèces et d'habitats. Par exemple, les populations de vertébrés ont diminué de moyennement 30% depuis 1970 (Global Environment Outlook, 2012).

Le fondement de cette qualification de sixième extinction de masse dépend à la fois du taux d'extinction et de sa magnitude. Différentes estimations ont été réalisées sur le taux d'extinction des espèces, avec différents degrés de probabilité. Selon le Millennium Ecosystem Assessment (2005), les taux d'extinctions estimés à partir des données fossiles varient de 0.1 à 1 extinctions pour 1000 espèces et pour 1000 ans. Or, le taux d'extinctions d'espèces connues a été estimé 50 à 500 plus important au siècle dernier, allant jusqu'à 1000 fois plus important si les espèces possiblement éteintes sont inclues dans les calculs (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Pimm et al., 2014).

Ceci concorde avec les résultats obtenus par Barnosky et al. (2011), qui qualifient la perte récente de biodiversité de sérieuse et dramatique tout en indiquant qu'elle ne remplit pas encore les conditions de la définition archéologique stricte d'extinction de masse. Cependant, des indications claires ont été mises en évidence, selon lesquelles la perte d'espèces menacées d'extinction à l'heure actuelle pourrait causer cette sixième extinction en quelques siècles, avec des conditions similaires aux autres extinctions de masse.

Ceci révèle donc l'urgence de la prise de mesures pour la protection et la conservation des espèces, particulièrement celles qui sont déjà menacées d'extinction (Butchart et al, 2010).

Afin de mettre en avant les espèces menacées d'extinction et de promouvoir leur conservation, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature ou IUCN (2016) réalise tous les ans une estimation de ces espèces menacées d'extinction en comparant les chiffres estimés aux espèces décrites jusqu'à présent (Figure 2).

	Estimation du nombre d'espèces décrites	Nombre d'espèces menacées en 2016	Nombre d'espèces évaluées par l'IUCN en 2016
Vertébrés	**68,109**	**8,160**	**66%**
Mammifères	5,567	1,194	100%
Oiseaux	11,121	1,460	100%
Reptiles	10,450	1,079	51%
Amphibiens	7,571	2,068	86%
Poissons	33,400	2,359	48%
Invertébrés	**1,305,250**	**4,470**	**1%**
Insectes	1,000,000	1,268	0.7%
Mollusques	85,000	1,984	9%
Arachnides	102,248	166	0.21%
Autres	118002	1,052	-
Plantes	**310,442**	**11,643**	**7%**
Champignons et protistes	**52,280**	**34**	**0.09%**
Total des espèces	**1,736,081**	**24,307**	**5%**

Figure 2. Estimations du l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature en 2016.

Il est important de noter que les estimations d'espèces menacées prennent uniquement en compte les espèces évaluées par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature, variables selon les groupes considérés, allant de 100% des espèces décrites pour les oiseaux, les mammifères et une certaine population de crabes à moins de 1% des espèces d'insectes, d'algues, de lichens ou de champignons, soulignant ainsi la forte probabilité de chiffres réels plus élevés pour nombre de ces groupes.

La comparaison avec les estimations de 1996 montre une augmentation progressive du nombre d'espèces menacées, quels que soient les groupes phylogénétiques considérés.

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature fournit également une estimation du nombre d'espèces possiblement éteintes à l'heure actuelle en fonction des différents groupes phylogénétiques, en précisant la forte probabilité d'une sous-estimation (Figure 3).

GROUPES D'ESPECES	NOMBRE D'ESPECES POSSIBLEMENT ETEINTES ET POSSIBLEMENT ETEINTES A L'ETAT SAUVAGE
Plantes	151
Mammifères	29
Oiseaux	22
Reptiles	38
Amphibiens	113
Poissons	85
Araignées	16
Centipèdes	2
Millipèdes	3
Insectes	50
Crustacés	17
Coraux	2
Mollusques	125
Vers	1
Arthropodes sans ailes	2
Protistes	4
TOTAL D'ESPECES	**660**

Figure 3. Estimations du nombre d'espèces possiblement éteintes et possiblement éteintes à l'état sauvage (International Union for Conservation of Nature, 2016).

Sur le rapport est également mentionnée la dernière date à laquelle chaque espèce a été vue pour la dernière fois à l'état sauvage, lorsque les données sont disponibles. Ces dates ont toutes eu lieu entre le 19^{e} et le 21^{e} siècle, indiquant une extinction relativement récente de ces espèces.

6) Impacts de l'homme sur la biodiversité et les écosystèmes

L'impact de l'homme sur la biodiversité et les écosystèmes est de plus en plus discuté et mis en cause dans les changements apparus au cours des dernières décennies et des deux derniers siècles. La perte substantielle et relativement récente de biodiversité à l'échelle planétaire coïncide en effet avec l'augmentation de nombreux indicateurs sociaux-économiques, de manière particulièrement marquée à partir de 1950 (Steffen et al., 2015), ainsi qu'avec l'utilisation plus importante des services écosystémiques par l'homme dans les dernières décennies, majoritairement due aux demandes croissantes de biens tels que la nourriture, l'eau, le bois, les fibres ou les carburants (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Global Environment Outlook, 2012).

Malgré une amélioration nette du bien-être et de la santé humaine grâce à cette augmentation des services rendus par les écosystèmes, ainsi que du développement économique malgré de nombreuses inégalités, ceci s'est souvent accompagné de réductions d'autres services et de dégradation des écosystèmes. Les services de provision, de régulation et les services culturels sont particulièrement touchés par la dégradation continue et l'utilisation non durable des écosystèmes ainsi que par le niveau de consommation des populations, menaçant les bénéfices obtenus durant les dernières décennies, particulièrement pour les futures générations (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Global Environment Outlook, 2012).

Les changements observés apparaissent plus importants que dans n'importe quelle autre période de l'histoire de l'humanité, amenant certains scientifiques à s'interroger sur le passage éventuel à une nouvelle époque géologique succédant à l'Holocène, qualifiée d'Anthropocène (Steffen et al., 2015).

En effet, les pressions exercées sur la biodiversité ne cessent d'augmenter, les principales menaces étant la perte de l'habitat et la dégradation dues à l'agriculture, à l'urbanisation et au développement des infrastructures, à la surexploitation, à la pollution et aux invasions d'espèces étrangères. Le changement climatique fait également partie des facteurs de changement majeurs, particulièrement lorsqu'il est associé à d'autres menaces (Global Environment Outlook, 2012 ; Thomas et al., 2004 ; Venter et al., 2016). Ces pressions apparaissent de plus particulièrement intenses, étendues et s'intensifiant rapidement dans les zones de forte biodiversité (Venter et al., 2016).

L'importance des invasions d'espèces dans la perte de la biodiversité varie en fonction des régions et des taxons, les espèces de vertébrés les plus menacées étant concentrées dans les Amériques, l'Inde, l'Indonésie, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, sans correspondre nécessairement aux zones définies comme « hotspots ». Cette répartition spatiale peut varier au cours du temps, comme le démontre la menace grandissante pour les espèces de mammifères d'Inde, d'Indonésie, d'Australie et d'Europe. Les espèces invasives de mammifères peuvent elles-mêmes menacer les autres espèces (Bellard et al., 2016).

L'impact de l'homme se ressent particulièrement sur les forêts, avec de nombreuses politiques de déforestation ayant conduit à la perte d'environ 230 millions d'hectares de forêt de 2000 à 2012, loin d'être compensée par les 80 millions d'hectares plantés (Hansen et al., 2013). De profondes réductions dans la densité et la proximité des zones humides ont également été associées avec une augmentation des populations et des activités humaines (Gibbs, 2000). Dans certaines régions, 95% de ces zones humides ont été perdues (Global Environment Outlook, 2012).

L'urbanisation, elle, a été mise en lien avec une dégradation locale mais significative de la biodiversité, y compris dans des écorégions importantes, des zones protégées et concernant des espèces rares, menaçant la survie de certaines espèces de vertébrés et selon certaines estimations, serait impliquée dans 8% de la liste d'espèces de vertébrés menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (Mcdonald et al., 2008). L'intensification de l'agriculture est également susceptible d'avoir des conséquences négatives pour la biodiversité (Kehoe et al.,2015).

Le Global Environment Outlook 5 (2012) rapporte également une détérioration des récifs de coraux, des habitats d'algues et des mangroves depuis les années 1970 et 1980, et un déclin continu de la biodiversité, particulièrement rapide dans les tropiques, les habitats d'eau douce et les espèces marines utilisées par l'homme, qui ne compense pas les succès limités obtenus grâce à la préservation de certaines espèces menacées d'extinction, l'inversion du déclin de certaines population et la restauration de certains habitats.

Quelques indicateurs montrent une amélioration, tels que la diminution de la pêche ou l'augmentation du service de séquestration du carbone notamment grâce à la replantation de forêts dans les régions tempérées, mais peuvent être contrecarrés avec les causes ou les précédents de telles améliorations, par exemple les conséquences de la surpêche impliquant le déclin de la quantité de poissons ou bien les précédentes déforestations comme source importante d'émissions de carbone (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

L'impact de l'homme sur la biodiversité et les écosystèmes est donc de plus en plus pesant, comme le montre la carte ci-dessous (Figure 4), et de nombreuses décisions ont été prises et restent à prendre pour tenter d'y remédier

.

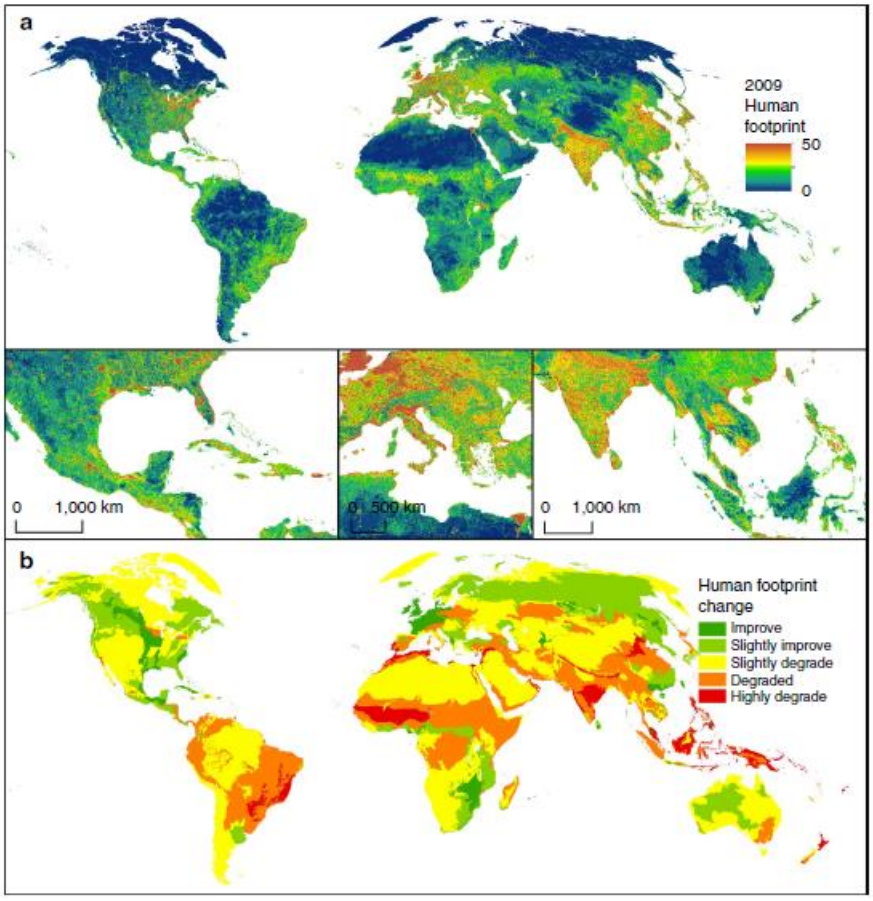

Figure 4. Cartes montrant l'état et les changements récents de l'empreinte humaine globale. (a) Carte de l'empreinte humaine globale en 2009 en utilisant une échelle de couleurs froides à chaudes allant de 0 à 50, et (b) changement dans l'empreinte humaine moyenne de 1993 à 2009 à l'échelle écorégionale. Source : Venter et al., 2016.

7) Place de la biodiversité dans les recommandations internationales et les objectifs de développement durable

Face à ces changements majeurs, les scientifiques et les communautés nationales et internationales de tous bords se sont de plus en plus mobilisés afin d'enrayer cette perte de biodiversité et cette dégradation des écosystèmes et du climat, aboutissant à des politiques de conservation, de restauration et développement durable.

a. Objectifs internationaux

Un des points de départ majeurs de mobilisation internationale en faveur de l'environnement fut la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement Humain à Stockholm en juin 1972, représentant la première réunion mondiale sur ce sujet, ayant abouti à la création du Programme des Nations Unies pour l'Environnement ainsi qu'à une déclaration des Nations Unies mettant en avant le besoin de préserver et améliorer l'environnement humain. Cette conférence a marqué la reconnaissance formelle par la communauté internationale que le développement et l'environnement sont liés entre eux et ne peuvent pas être considérés séparément.

Vingt ans plus tard, cette reconnaissance a pris une autre dimension avec la réunion d'une centaine de chefs d'États de gouvernements et plus de 1 500 ONG lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement au sommet de la Terre à Rio de Janeiro au Brésil en juin 1992 (Reygrobellet, 2007). Cette Conférence a marqué la reconnaissance publique et politique de l'importance de l'environnement, de la biodiversité et du développement durable. Plusieurs déclarations et conventions ont été alors établies et ratifiées.

- La Déclaration de Rio sur l'Environnement et le Développement

Cette Déclaration comprenant 27 principes « réaffirmant la Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement adoptée à Stockholm le 16 juin 1972, et cherchant à en assurer le prolongement » (Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, 1992) est axée sur le développement durable, affirmant notamment la nécessité de la protection de l'environnement à l'heure actuelle et pour les générations futures, de la réduction des inégalités ainsi que la place centrale de l'homme dans ces considérations en promulguant un rapport harmonieux avec la nature. Différents moyens sont proposés, tels que la coopération internationale pacifique, la diminution de la pollution et des moyens de production et de consommation non viables, ainsi que l'implication des citoyens dans la mise en place du développement durable et de la protection des écosystèmes.

- La Convention sur la Diversité Biologique

Cette convention est une avancée majeure dans la prise en compte de la biodiversité à l'international et par de nombreux pays afin d'adapter leur politique environnementale. Discutée puis établie par un groupe de travail à l'initiative du Programme des Nations Unies pour l'Environnement dès 1988 puis validée lors de la Conférence de Nairobi en mai 1992, elle a été ouverte à la signature par les états volontaires au sommet de la Terre de Rio en juin de la même année et est entrée en vigueur le 29 Décembre 1993 (Convention On Biological Diversity, 2017).

La Convention reconnaît « la valeur intrinsèque de la diversité biologique et de la valeur de la diversité et de ses éléments constitutifs sur les plans environnemental, génétique, social, économique, scientifique, éducatif, culturel, récréatif et esthétique, […] l'importance de la diversité biologique pour l'évolution et pour la préservation des systèmes qui entretiennent la biosphère » et affirme que « la conservation de la diversité biologique est une préoccupation commune à l'humanité, […] les Etats sont responsables de la conservation de leur diversité biologique et de l'utilisation durable de leurs ressources biologiques » et que « la diversité biologique s'appauvrit considérablement par suite de certaines des activités de l'homme » (Convention sur la Diversité Biologique, 1992).

Elle représente un appel aux différents gouvernements à prendre en compte la biodiversité dans la gestion de leurs territoires notamment, insistant sur la nécessité de la conservation et de la reconstitution de cette biodiversité et des écosystèmes, en particulier dans l'article premier concernant les objectifs de la Convention :

« Article premier. Objectifs

Les objectifs de la présente Convention, dont la réalisation sera conforme à ses dispositions pertinentes, sont la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques, notamment grâce à un accès satisfaisant aux ressources génétiques et à un transfert approprié des techniques pertinentes, compte tenu de tous les droits sur ces ressources et aux techniques, et grâce à un financement adéquat. » (Convention sur la Diversité Biologique, 1992)

Elle rappelle en outre le lien entre la diversité biologique et les besoins de la population humaine.

À la fin de la période de signature le 4 juin 1993, 168 pays l'avaient ratifiée, formant 196 parties à l'heure actuelle. La Conférence des Parties, en anglais Conference Of the Parties ou COP, se réunit depuis régulièrement, la première ayant eu lieu fin 1994 aux Bahamas (Convention on Biological Diversity, 2017). La Conférence des Parties se tient à présent tous les deux ans.

- L'Agenda 21

Le sommet de la Terre a aussi été l'occasion d'adopter l'Agenda 21 qui, dans l'intention d'adresser les enjeux actuels et futurs, présente des objectifs environnementaux et de développement à mettre en place par des stratégies et politiques nationales, reflétant la responsabilité des Gouvernements et leur engagement à une coopération du plus haut niveau par rapports à ces considérations, internationales, régionales et sous régionales. Comme dans la Déclaration de Rio, la participation publique et celle des organisations non gouvernementales sont mises en avant pour la réussite de ces objectifs.

Parmi les principaux objectifs de l'Agenda 21 apparaissent la conservation de la diversité biologique, la gestion des écosystèmes fragiles, la protection et l'amélioration des conditions de santé humaine mais également le changement des habitudes de consommation, la protection de l'atmosphère, une approche intégrative de planification et de gestion des terres, le combat contre la déforestation ou encore la promotion d'une agriculture durable et du développement rural.

D'autres concernent la protection des ressources aquatiques et la gestion des déchets et produits toxiques (Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, 1992).

À la suite de ce Sommet de la Terre à Rio, différentes initiatives ont été mises en place au niveau international, dont l'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire ou Millennium Ecosystem Assessment par les Nations Unies, débutée en 2001 et publiée en 2005, dont une des parties concerne la biodiversité.

En 2002, le troisième Sommet mondial à Johannesburg présente comme thème central le développement durable et réaffirme l'engagement de 1992 en remettant à jour les défis à venir et les moyens de les surpasser. (Rapport du Sommet Mondial sur le Développement Durable, 2002)

Le protocole de Nagoya adopté en Octobre 2010 lors du Sommet de 2010 sur les villes et la biodiversité, au cours de l'Année Internationale de la biodiversité, et entré en vigueur en Octobre 2014, vient renforcer la Convention sur la Diversité Biologique et a comme objectif le partage juste et équitable des bénéfices obtenus de l'utilisation des ressources génétiques, contribuant donc à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité. (Rapport de la Dixième Réunion de la Conférence des Parties de la Convention sur la Diversité Biologique, 2010). Il s'accompagne d'un plan stratégique de 2011 à 2020 avec 5 buts stratégiques comprenant les 20 objectifs d'Aichi pour la biodiversité, mettant particulièrement en cause le rôle de l'urbanisation rapide comme facteur d'appauvrissement de la biodiversité à l'échelle mondiale (Déclaration d'Aichi-Nagoya sur les Autorités Locales et la Diversité Biologique, 2010).

Enfin, en 2015, les Nations Unies ont mis au point 8 Objectifs du Millénaire pour le développement, transformés rapidement en 17 Objectifs pour le Développement Durable dans l'Agenda 2030 pour le Développement Durable :

- Objectif 1. Éliminer la pauvreté sous toutes ses formes et partout dans le monde

- Objectif 2. Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable

- Objectif 3. Permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tout âge

- Objectif 4. Assurer l'accès de tous à une éducation de qualité, sur un pied d'égalité, et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie

- Objectif 5. Parvenir à l'égalité des sexes et autonomiser toutes les femmes et les filles

- Objectif 6. Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau

- Objectif 7. Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes à un coût abordable

- Objectif 8. Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous

- Objectif 9. Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation

- Objectif 10. Réduire les inégalités dans les pays et d'un pays à l'autre

- Objectif 11. Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables

- Objectif 12. Établir des modes de consommation et de production durables

- Objectif 13. Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions

- Objectif 14. Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable

- Objectif 15. Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des terres et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité

- Objectif 16. Promouvoir l'avènement de sociétés pacifiques et ouvertes à tous aux fins du développement durable, assurer l'accès de tous à la justice et mettre en place, à tous les niveaux, des institutions efficaces, responsables et ouvertes à tous

- Objectif 17. Renforcer les moyens de mettre en œuvre le Partenariat mondial pour le développement durable et le revitaliser

L'année 2015 a également marqué l'adoption des Accords de Paris sur le changement climatique lors de la Convention-cadre sur les changements climatiques Accord de Paris.

Afin d'aller vers la réalisation de ces objectifs, des initiatives et des projets doivent être mis en place à tous les niveaux. Nous allons à présent nous intéresser à la mise en place des recommandations internationales en France, qui est un des pays signataires de la Convention sur la Diversité Biologique.

b. Politique nationale française

Après la ratification de la Convention sur la Diversité Biologique et la participation aux différents sommets mondiaux, la France a adopté sa Stratégie Nationale pour la Biodiversité en 2004, au départ fixée pour 2004-2010, et lancé ses premiers plans d'actions en 2005.

La SNB a été révisée en 2010 lors de l'année de la biodiversité, et une nouvelle stratégie 2011-2020 a été adoptée en 2011 (Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'énergie, 2011).

Cette dernière définit cinq pressions menaçant la biodiversité :

- « la destruction, la fragmentation et l'altération des habitats réduisent les milieux de vie disponibles pour les espèces et leurs possibilités de déplacement;

- les pollutions de l'air, des sols, des cours d'eaux et des océans constituent une perturbation de nombreux écosystèmes et un risque pour la santé humaine;

- l'exploitation des espèces à un rythme supérieur à la vitesse de renouvellement de leurs populations entraîne leur déclin; l'arrivée ou l'exportation d'espèces exotiques envahissantes dans des écosystèmes souvent déjà fragilisés par d'autres pressions sont un problème récurrent;

- les changements climatiques ont des conséquences directes et indirectes sur la biodiversité (perturbation des cycles de vie, décalages saisonniers, etc.);

- la diminution d'activités humaines, notamment agricoles, conduit souvent à la banalisation des paysages et de la biodiversité. »

Elle établit ensuite 20 objectifs axés en 6 orientations stratégiques : susciter l'envie d'agir pour la biodiversité, préserver le vivant et sa capacité à évoluer, investir dans un bien commun, le capital écologique, assurer un usage durable et équitable de la biodiversité, assurer la cohérence des politiques et l'efficacité de l'action, et développer, partager et valoriser les connaissances.

Un des objectifs concerne tout particulièrement l'urbanisation puisqu'il s'agit de construire une infrastructure écologique incluant un réseau cohérent d'espaces protégés, en définissant la Trame Verte et Bleue, qui sera présentée dans une autre partie, comme une priorité.

La Stratégie Nationale pour la Biodiversité 2011-2020 appelle à une coopération de tous les secteurs afin de réaliser ces objectifs. Les collectivités territoriales ont un rôle particulièrement important à jouer afin de mettre en place les stratégies territoriales et les plans d'actions tels que les Agendas 21 locaux, les Stratégies Régionales pour la Biodiversité ainsi que les plans d'action biodiversité à l'échelle communale et intercommunale et les démarches telles que la Trame Verte et Bleue mentionnée ci-dessus.

À ce jour, 312 organismes ont adhéré à la Stratégie Nationale pour la Biodiversité 2011-2020 : 122 associations et autres structures participant à la protection, connaissance ou éducation à l'environnement, 111 entreprises et organisations professionnelles, 46 établissements publics, 31 collectivités territoriales et 2 syndicats de travailleurs (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, 2017).

La Stratégie Nationale de Transition Ecologique vers un Développement Durable 2015-2020 vient compléter la Stratégie Nationale pour la Biodiversité, ses trois premiers objectifs étant de développer des territoires durables et résilients, s'engager dans l'économie circulaire et sobre en carbone et enfin prévenir et réduire les inégalités environnementales, sociales et territoriales (Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'énergie, 2015).

Un exemple de stratégie locale est celui des SCoT ou Schémas de Cohérence Territoriale à partir des années 2000, en accord avec la loi « Solidarité et Renouvellement Urbains » du 13 décembre 2000 (Ministère de la Cohésion des Territoires, 2014).

Selon la définition du Ministère de la Cohésion des Territoires, « le SCoT est l'outil de conception et de mise en œuvre d'une planification stratégique intercommunale, à l'échelle d'un large bassin de vie ou d'une aire urbaine, dans le cadre d'un projet d'aménagement et de développement durables (PADD). »

Il représente la référence des différentes politiques dont celles d'urbanisme ou d'environnement nécessaires à un projet d'aménagement et permet une cohérence parmi elles, en respectant les principes du développement durable et de respect de l'environnement.

Au premier janvier 2015, le recensement des SCoT affichait plus de 448 SCoT approuvés, en cours ou en projet, représentant 25 137 communes (près de 70 %) et 50,5 millions d'habitants (77 % de la population française), sur près de 60 % du territoire national. Quant aux Agendas 21, 1352 démarches ont été recensées (Agenda 21 France, 2017).

8) Relation entre l'Homme et la Biodiversité

L'homme occidental s'est peu à peu détaché de la nature. Depuis la révolution industrielle, il s'est rapproché des machines et s'est éloigné des champs. De grandes avancées en ont découlé, certes, mais à quel prix ? Probablement la déconnexion de cette nature omniprésente, et pourtant si absente de certains modes de vie aseptisés. Une dualité s'est créée entre l'homme et la nature, comme si ce dernier n'en faisait pas partie, et était même au-dessus d'elle.

La nature est alors devenue un adversaire à combattre, à coups de pesticides, d'insecticides, d'antibiotiques. Une bonne partie de la société occidentale a tendance à considérer la nature et la biodiversité d'un point de vue hostile, comme une menace, un danger. La nature sauvage en particulier, peut être vue comme quelque chose de sale, d'hideux, qu'il faut réarranger, nettoyer, contrôler, tout au moins selon l'approche de pensée cartésienne, s'opposant à la vision plus romantique qui au contraire donne de la valeur à une nature authentique (Reygrobellet, 2007).

Pourtant, comme Robert Barbault l'évoque dans son livre « Un éléphant dans un jeu de quilles » (2008), l'homme a une longue histoire avec la nature, y compris des relations très profondes de mutualisme, de symbiose et de coopération, rien que par la présence dans notre tube digestif des milliards de bactéries, plus nombreuses que nos propres cellules, qui nous sont indispensables pour vivre. La domestication d'espèces végétales et animales nous apporte d'énormes bénéfices, tant alimentaires que de compagnonnage.

Ces relations positives sont innombrables, dans lesquelles la nature représente une alliée et non une menace. Edward Wilson va même plus loin en affirmant que l'homme a une fascination, un attrait naturel et inné pour la vie qu'il a nommé « biophilia », biophilie en français dans son livre du même nom en 1984. Il est vrai que cet intérêt pour la vie et toutes ses formes se remarque dans de nombreuses circonstances, du paysagisme aux préférences résidentielles et touristiques, sans oublier l'art qui s'en inspire depuis la nuit des temps (Reygrobellet, 2007).

D’autres concepts et courants philosophiques parlent de ce lien entre l’homme et la nature, de la place de l’homme au sein de la nature et de la sagesse que l’on peut y trouver. La plupart de ces approches viennent de philosophies orientales, notamment le Confucianisme qui prône « l’unité de la nature et de l’homme » selon différentes interprétations avec des applications concrètes en Chine dans la manière de traiter et de préserver l’environnement (Zhou, 2008).

S’inspirant de telles philosophies, la Sagesse Ecologique entend réunir les différents courants de pensée afin d’en extraire les avantages tout en laissant les arguments obsolètes, ainsi qu’en s’inspirant des mythes, traditions et modèles résilients du passé, le tout permettant de construire un nouveau modèle de fonctionnement en harmonie avec la nature et les écosystèmes, autrement dit de « coévolution de systèmes écologiques et sociaux » (Young, 2016).

Young exprime parfaitement cette philosophie : « Transcender la Grande Division entre la nature et la société établie par la modernité et éclatée en une myriade de divisions par la postmodernité est fondamental pour établir les recommandations pour des civilisations écologiquement sages. De cette manière, ce n’est pas juste l’humanité et la nature mais aussi chaque aspect de la bifurcation – humain et non humain, rationalité et mythe, raison et émotion, passé et présent, qui a besoin d’être intégré. La Sagesse Ecologique ne cherche pas à accomplir ceci d’une manière à causer leur négation mutuelle résultant en chaos mais plutôt d’une façon dialectique, aboutissant à de nouvelles synthèses d’immense potentiel. C’est à cette croisée des chemins, ou peut-être mieux dit, à cette croisée de fertilisation, que réside la Sagesse Ecologique. »

Ces nombreux courants ont en commun de reconnaître la place de l’homme au sein même de la nature et non pas extérieur à elle, l’importance d’un comportement respectueux et harmonieux envers elle, ainsi que la sagesse intrinsèque de la nature, qui fonctionne de manière résiliente depuis l’apparition de la vie sur Terre. Ceci a donné lieu à des réflexions en matière d’urbanisme et de planification urbaine, aboutissant notamment à la création de villes ou tout au moins d’éléments d’architecture biophiles, telles que les infrastructures vertes, afin de ramener la biodiversité et la nature en ville.

L’idée de réconcilier l’être humain et la nature dans les villes est particulièrement intéressante en raison de l’urbanisation croissante que connaît le monde à l’heure actuelle, particulièrement puisque la conservation des espèces de manière isolée, dans des réserves naturelles, ne suffira pas à répondre aux défis qui nous attendent. Il ne s’agit plus d’essayer uniquement de préserver la nature de l’influence de l’homme en essayer de soustraire ce dernier aux écosystèmes. Une autre approche, complémentaire, est possible : celle de créer des écosystèmes résilients où coexistent harmonieusement l’homme et la nature.

C’est ce que propose R.F. Young (2016) dans un article faisant le rapprochement entre la ville biophile et les différentes représentations du paradis dans les textes religieux et spirituels ainsi que dans les œuvres littéraires réalisées jusqu’à présent. Ainsi, il apparaît que le paradis n’est pas représenté comme la nature sans l’homme, mais bien comme l’union entre les deux, c’est-à-dire une nature enrichie des constructions humaines dans une harmonie visuelle et fonctionnelle.

Ainsi, il apparaît évident qu'un changement de pensée et de considération envers la biodiversité et la nature est crucial afin de réajuster la trajectoire délétère prise par la surexploitation des ressources des écosystèmes ainsi que l'extinction de nombreuses espèces ces dernières décennies. Une approche holistique est nécessaire, qui inclut l'homme et la biodiversité dans une même biosphère nécessitant de vivre en harmonie pour pouvoir se développer de manière durable.
Les philosophies de nombreuses cultures ont des parcelles de sagesse dont nous pouvons nous inspirer afin de créer un nouveau modèle, dans une démarche intégrative et non séparatrice ni négationniste, afin d'aboutir à une société de paix, respectueuse de l'environnement et consciente de la valeur de la biodiversité et des interconnexions avec le reste du monde vivant.

Car comme le dit si bien Robert Barbault, « *sans nature, pas de futur* ».

9) Enjeux actuels

Les activités humaines ont un impact très important sur la biodiversité et ceci s'est beaucoup accéléré depuis le siècle dernier. Les conséquences sur l'équilibre des écosystèmes ainsi que sur la santé humaine sont plus importantes que dans n'importe quelle période de l'histoire de l'humanité et sont donc de plus en plus étudiées. L'agriculture intensive, la surexploitation des ressources fossiles entraînant des phénomènes de pollution, l'introduction d'espèces invasives, le changement climatique ainsi que l'urbanisation croissante jouent un rôle majeur dans ces phénomènes.

Inverser les tendances actuelles de dégradation des écosystèmes implique un changement important dans décisions politiques et institutionnelles en parallèle d'un engagement local et communautaire et de l'éducation en matière d'environnement. Or, ce changement drastique de trajectoire doit être le plus rapide possible étant donné les taux d'extinction actuels. Les études sur la récupération des écosystèmes après une extinction de masse montrent en effet différents schémas, mais se font à une échelle de temps qui dépasse de très loin l'échelle individuelle (Barnoski et al., 2011 ; Sole et al., 2002). Ainsi, de nombreux scientifiques affirment qu'il est toujours possible d'inverser la tendance mais que ceci nécessite des modifications drastiques affectant de nombreux plans (Kehoe et al., 2015 ; Venter et al., 2016).

L'urbanisation est un facteur de risque majeur de perturbation des écosystèmes, en lien avec de nombreux autres. Or, selon les estimations des Nations Unies, deux tiers de la population mondiale sont attendus dans les villes en 2050, y compris dans de nombreuses zones non encore construites. La question de l'impact que cette urbanisation aura sur la planète et plus spécifiquement sur l'être humain et sa santé, en particulier en regard de la perte de la biodiversité, a un intérêt majeur afin reconnaître l'importance de mettre en place des politiques de construction urbaine durables, en prenant en compte intelligemment tous les outils à notre disposition en se basant sur des connaissances concrètes et des stratégies réfléchies.

Nous allons donc à présent nous intéresser aux bénéfices pour la santé humaine de préserver la biodiversité, en particulier en zones urbaines.

PARTIE II – IMPACT DE LA BIODIVERSITE SUR LA SANTE HUMAINE

L'Organisation Mondiale de la Santé définit la santé comme suit : « La Santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité (Internation Health Conference, 1946). Cependant, certains auteurs (Li, 2017) évoquent des facteurs supplémentaires de santé humaine et notamment le facteur environnemental.

Nous vivons en effet dans un écosystème planétaire, une écosphère, dont les relations sont complexes et interconnectées. Ainsi, les modifications de la biodiversité, son abondance ou sa diminution dans notre environnement devraient nous affecter plus ou moins en profondeur. La littérature scientifique abonde en ce sens, avec des résultats relativement significatifs, et nous permet d'avoir une vue globale sur l'ensemble des conséquences de la biodiversité et plus généralement de la nature sur l'être humain et sa santé.

Dans son rapport « Prévenir les maladies par un environnement plus sain » (Prüss-Ustün et al., 2016), l'Organisation Mondiale de la Santé estime que 23 % de la mortalité parmi le total de la population mondiale peut être attribuée à des facteurs environnementaux, dont les deux tiers représentent des maladies non transmissibles. Au sein de ces différents facteurs environnementaux, certains sont liés à la biodiversité et à la nature, en particulier la pollution de l'air et les facteurs environnementaux favorisant le bien être psychologique et l'activité physique.

Ce sont des facteurs modifiables, notamment la présence d'espaces verts, qui pourraient avoir un impact positif sur la santé globale (Maas, 2006) ainsi que sur différentes pathologies, de la prévention aux mesures thérapeutiques non médicamenteuses.

Dans cette troisième partie, nous allons étudier de manière non exhaustive l'influence de la biodiversité et la nature sur de nombreux facteurs de notre santé.

1) Maladies non transmissibles

Selon les Estimations de Santé Globale 2015 de l'Organisation Mondiale de la Santé (Global Health Estimates 2015), les maladies non transmissibles ont été responsables de plus de 39 millions de morts en 2015, représentant 70% de tous les décès dans le monde entier, dont plus de la moitié des décès prématurés selon l'estimation. Environ 40% de ces décès prématurés ont été causés par des maladies cardiovasculaires, des cancers, des diabètes ainsi que des pathologies pulmonaires non infectieuses.

a. Asthme et autres pathologies pulmonaires

i. Pollution de l'air

La pollution de l'air est reconnue par l'Organisation Mondiale de la Santé (World Health Organization, 2016) comme le plus gros risque environnemental pour la santé humaine. En 2012, 3 millions de décès et 85 millions d'années d'espérance de vie perdues ont été associés à la pollution de l'air en extérieur, majoritairement

dus à des maladies non transmissibles. Ce phénomène affecte toutes les régions du monde et à l'heure actuelle, 90% de la population mondiale respire de l'air non conforme aux recommandations de qualité de l'air de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Les relations entre les maladies respiratoires et la pollution de l'air ont été mises en avant de nombreuses fois au cours des dernières années (Guarnieri et Balmes, 2014), en particulier en ce qui concerne l'asthme, comme l'établit l'Organisation Mondiale de la Santé dans son rapport « Prévenir les maladies par un environnement plus sain » (Prüss-Ustün et al., 2016). La pollution serait majoritairement impliquée dans l'exacerbation d'un asthme préexistant mais certains résultats laissent envisager qu'elle soit également responsable de nouveaux cas. Plusieurs causes sont évoquées dans la littérature scientifique, telles que l'inflammation et une hyperréactivité immunologique des voies aériennes, un stress et des dommages oxydatifs, un remaniement des voies aériennes et une sensibilisation respiratoire aux allergènes aériens.

Par exemple, un lien entre la qualité de l'air et le nombre d'hospitalisations liées à l'asthme a été mis en évidence dans le Bronx à New York City (Maantay, 2007). En effet, les habitants étaient plus à risque d'être hospitalisés pour asthme dans un périmètre de distance proche des zones de pollution de l'air telles que les voies de circulation ou les zones industrielles dégageant de nombreux polluants. Dans leur étude, les auteurs définissent la pollution de l'air par la présence dans l'air des polluants ayant été associés avec des effets pulmonaires telles que les matières particulaires en suspension, les composés organiques volatiles (benzène, acétaldéhyde, tétrachloroéthylène, toluène), le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et l'ozone. L'Organisation Mondiale de la Santé estime à environ 7.9% le facteur de risque de pollution environnementale pour les infections respiratoires aiguës basses, 14% pour le cancer du poumon et 9% pour la bronchopneumopathie obstructive chronique.

Ceci est en accord avec certains résultats montrant une association significativement positive entre l'exposition aux particules en suspension et la mortalité due à la pneumonie et à la grippe (Pope et al., 2004).

ii. Effets bénéfiques de la biodiversité

De plus en plus, la littérature scientifique étudie l'impact de la végétation dans les zones les plus polluées telles que les grandes agglomérations, en particulier la présence d'arbre dans les rues, avec des résultats significativement positifs.

De nombreuses publications mettent en avant le pouvoir de réduction de la pollution atmosphérique par les arbres, notamment en Chine à Beijing (Yang et al., 2005). La forêt urbaine de Beijing présente une capacité significative de stockage du dioxyde de carbone et de réduction des polluants atmosphériques, majoritairement les particules en suspension dans l'air. Selon les auteurs, cet effet pourrait être optimisé par la préservation des arbres déjà existants, la plantation de nouveaux arbres plus performants dans la récupération des polluants et mieux adaptés aux conditions de vie locale et une technique optimale de plantation et d'entretien.

Aux Etats Unis, la capacité de diminution de la pollution atmosphérique par les arbres en zone urbaine a été également documentée dans une étude prenant en compte pas moins de 48 états (Nowak et al., 2006).

La réduction de polluants tels que l'ozone, les particules en suspension, le dioxyde d'azote, le monoxyde de carbone et le dioxyde de souffre a été démontrée, avec des variations selon les villes, leur température, le pourcentage de couverture végétale ou encore le taux de pollution atmosphérique. Là encore, la recapture des polluants pourrait être favorisée par une augmentation de la surface végétalisée, mais les résultats obtenus illustrent bien le rôle primordial de la végétation dans la gestion de la pollution atmosphérique.

Pour aller plus loin, certaines études mettent en évidence le lien entre la présence d'arbres dans les zones urbaines et l'asthme, suggérant que ce rôle de dépollution a une incidence sur la santé humaine.

Par exemple, une étude effectuée sur différentes zones de la ville de New York a montré une relation entre la présence d'arbres dans les rues et la prévalence de l'asthme chez les enfants de 4 et 5 ans (Lovasi et al., 2008), significativement plus faible dans les zones dont la densité d'arbres était plus élevée. Cette corrélation s'est même renforcée après ajustement des résultats aux autres facteurs tels que la densité de population et la proximité avec des sources de pollution. La relation entre la densité d'arbre et les hospitalisations dues à l'asthme, significative lors de la première analyse, est cependant devenue non significative après ces ajustements.
Le lien de causalité entre la présence d'arbres dans les rues et la prévalence d'asthme à l'échelle individuelle n'a pas encore été prouvé, mais cette étude suggère que les arbres pourraient jouer un rôle dans la prévention de l'asthme chez les jeunes enfants.

Même si de nombreux facteurs entrent en jeu dans la pollution de l'air ainsi que dans les maladies respiratoires, la diminution de la pollution atmosphérique par la végétation est un élément à prendre en compte dans leur prévention.

b. Maladies cardiovasculaires

Les maladies cardio-vasculaires, d'après l'Organisation Mondiale de la Santé, sont en tête de liste des maladies dont une part non conséquente est attribuée à des facteurs environnementaux, en particulier les accidents vasculaires cérébraux et l'ischémie cardiaque qui sont classées devant les maladies infectieuses respiratoires et la malaria.

i. Pollution atmosphérique

Comme pour l'asthme et certaines maladies respiratoires, la pollution atmosphérique est un des facteurs de risque, estimé à 23% dans les maladies cardiaques ischémiques et à 25% dans les accidents vasculaires cérébraux.

Une augmentation de la mortalité cardiovasculaire a en effet été corrélée à une exposition à long terme aux particules en suspension dans l'air, un des éléments majeurs de la pollution atmosphérique (Pope et al., 2004). Le lien le plus robuste entre une telle exposition et la mortalité a été trouvé avec l'ischémie cardiaque, renforçant l'hypothèse de départ des auteurs en faveur d'un mécanisme d'action provoquant une inflammation pulmonaire et une accélération de l'athérosclérose. De plus, l'exposition à long terme à ces particules est aussi corrélée à la mortalité par arythmie, insuffisance cardiaque et arrêt cardiaque, suggérant un mécanisme complémentaire entrainant l'altération de la fonction autonome cardiaque.

Par ailleurs, un risque élevé d'accident vasculaire cérébral a été retrouvé dans des zones présentant un faible revenu, une pollution atmosphérique élevée et un faible niveau d'exposition aux espaces verts (Hu et al., 2008).

Comme discuté précédemment, la végétation présente un rôle non négligeable de réduction de la pollution atmosphérique et serait donc également susceptible, par ce phénomène notamment, d'avoir un impact positif sur les maladies cardiovasculaires.

ii. Etat psychologique

Le rôle de l'état psychologique a longtemps été sous-estimé dans l'apparition et l'évolution des maladies non transmissibles, en particulier les maladies cardiovasculaires. Or, de surprenants résultats viennent renforcer cette relation, mettant en évidence une corrélation négative entre le niveau d'appréciation de la vie et le risque d'incidence et de mortalité des maladies cardiovasculaires chez les hommes, en particulier dans le cas de l'accident vasculaire cérébral et le total des maladies cardiovasculaires confondues, et ce même en prenant en compte les facteurs de risque cardiovasculaire et les variables psychosociales (Shirai et al., 2009).

Cette association entre un état psychologique positif et l'incidence et la mortalité des maladies cardiovasculaires pourraient être expliquées en partie par des styles de vie plus sains, tels que l'absence de consommation tabagique, la pratique d'activité physique ainsi que la réalisation plus fréquente de bilans de santé, aux côtés d'autres mécanismes probables.

Une des sous-parties traitées par la suite permettra de mettre en relation ces résultats et les bienfaits que la nature et donc la biodiversité peuvent apporter en regard de ces maladies par rapport à l'influence des états psychologiques.

iii. Proximité avec des espaces verts publics

La présence d'espaces verts publics à proximité du lieu de résidence a été associée à une meilleure santé métabolique et cardiaque (Paquet et al., 2013). L'accessibilité à ces espaces n'est pas apparue comme un facteur de prévention du risque cardiométabolique en tant que telle, mais plutôt le taux de végétation de ces espaces, leur taille et leur activité.

Les bénéfices pour la santé d'espaces publics de grande taille ont été partiellement expliqués dans ce cas particulier par l'activité physique, et pas du tout par le bien-être psychologique.

c. Surpoids et obésité

L'obésité est un problème majeur de santé publique. En 1997, l'Organisation Mondiale de la Santé l'a déclarée lors d'un rapport « épidémie globale » avec des implications majeures pour la santé (World Health Organization, 1997). Elle est définie comme « une accumulation anormale ou excessive de graisse corporelle qui peut nuire à la santé ». D'après le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé de 2015, la prévalence du diabète au niveau mondial était estimée à 10% en 2014.

Cette affection chronique omniprésente, en particulier dans les pays développés mais également dans ceux en voie de développement, a vu sa prévalence augmenter au fil des décennies pour attendre son plus haut niveau à l'heure actuelle, touchant aussi bien les enfants que les adultes.

L'obésité est un facteur de risques de nombreuses autres pathologies, ou comorbidités associées, telles que les maladies cardiovasculaires (World Health Statistics, 2016), en particulier l'hypertension artérielle, les maladies coronaires, l'infarctus du myocarde et les accidents vasculaires cérébraux, mais également le diabète de type 2, certains types de cancer et bien d'autres troubles physiques ou psychologiques.

Les traitements de première intention pour lutter contre l'obésité étant comportementaux, notamment en améliorant l'alimentation, l'exercice physique et en luttant contre la sédentarité, le potentiel de réflexion et d'action sur ces axes est très important, en particulier concernant la place de la biodiversité en ville où la sédentarité est très présente.

Or, la prévention est primordiale dans la gestion de l'obésité car, toujours selon l'Organisation Mondiale de la Santé, une prise de poids même relativement faible, sans atteindre l'obésité marquée, peut conduire à des risques pour la santé. C'est une épidémie globale qui concerne l'ensemble de la population, nécessitant donc une prévention et une prise en charge multisectorielles, englobant les secteurs culturels, économiques et sociaux en parallèle des secteurs de santé au sens plus strict du terme.

De plus, l'examen des facteurs impliqués dans la prise de poids et l'obésité dans les pays développés est crucial pour pouvoir les corriger ainsi que pour prévoir leur futur impact dans les pays en début de transition, fournissant une opportunité sans précédent de mettre en place des actions préventives.

Parmi les facteurs tels que l'alimentation, l'exercice physique et la sédentarité, plusieurs pourraient être influencés par la conservation ou le développement de la biodiversité en zones urbaines.

La présence de végétation dans les quartiers de résidence, par exemple, offre des résultats intéressants en termes de prévention du diabète chez les enfants et les adolescents, affectant négativement l'augmentation de l'Indice de Masse Corporelle, qui est un indicateur de surpoids ou d'obésité, et ceci indépendamment de la densité résidentielle (Bell et al., 2008). Cette influence pourrait être exercée par l'exercice physique, les enfants et les adolescents, plus que les adultes, étant susceptibles d'être actifs dans un plus grand nombre d'espaces ouverts tels que les parcs et les jardins. Ces résultats, parmi d'autres dans la littérature scientifique, suggèrent ainsi que le taux de verdure pourrait indiquer la proximité de parcs, d'aires de jeux, ou d'autres espaces ouverts qui encouragent soit à plus d'activité physique soit à plus de temps passé à l'extérieur à des jeux actifs.

Le taux de verdure d'un environnement résidentiel et la présence d'un jardin sont également corrélés à une meilleure perception de leur santé par les résidents (De Vries et al., 2003). Les effets des espaces verts ont également été évalués par une étude danoise (Nielsen et Hansen, 2007) prenant en compte la distance entre le domicile et les espaces verts, leur usage et l'Indice de Masse Corporelle. Les résultats suggèrent que l'utilisation des espaces verts est plus importante et plus fréquente lorsque ces derniers sont proches du domicile.

En particulier, l'accès à un jardin privé ou partagé a été inversement corrélé avec le surpoids et l'obésité. Pour les plus jeunes de l'étude, en dessous de 25 ans, une distance accrue des espaces verts s'est même révélée augmenter le risque d'obésité.

L'utilisation des espaces naturels ne pouvant pas expliquer les bénéfices des espaces verts sur les indicateurs de santé considérés dans cette étude au vu des résultats obtenus, il a été considéré que le caractère général du quartier pouvait être affecté par des infrastructures vertes et ainsi inciter plus ou moins à des activités extérieures et des modes de transport relativement meilleurs pour la santé dans la vie de tous les jours tels que la marche et le vélo.

Les mécanismes en jeu dans ces relations entre nature et santé pourraient être les suivants :

- plus de nature conduit à un environnement moins pollué
- plus de nature conduit à un contact plus fréquent ou prolongé avec, et donc augmente l'expérience de ces espaces naturels
- plus de nature conduit à plus d'activité physique comme la marche ou le vélo.

Les bénéfices de ces trois phénomènes ont été bien établis dans la littérature.

Ces études vont dans le sens d'une considération des espaces verts et naturels dans la planification urbaine et la conception des infrastructures. En effet, les espaces naturels ont été associés à une réduction du risque de surpoids et d'obésité, et seraient susceptibles d'inciter à plus d'exercice physique.

d. Autres facteurs de risque

i. Exercice physique et sédentarité

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (World Health Organization, 2014), l'activité physique insuffisante contribue à 69,3 millions d'années d'espérance de vie perdues et à 3,2 millions de décès chaque année. De nombreuses recherches scientifiques attirent ainsi l'attention sur le rôle de l'activité physique dans la prévention de diverses pathologies, telles que le diabète, certaines maladies cardiovasculaires et certains cancers, et appellent à étudier sa relation avec la présence d'espaces verts, particulièrement en zone urbaine.

Bien que les données soient encore insuffisantes pour établir un lien de réelle causalité, la proximité avec les espaces verts urbains et un meilleur entretien de ces derniers ont été associés à une fréquence plus élevée d'activité physique, celle-ci apparaissant liée à une diminution du stress et ainsi à une amélioration de la santé mentale. De même, la durée de l'activité physique ainsi que la visibilité des espaces verts urbains ont été positivement corrélés à la santé physique (Akpinar, 2016).

L'activité physique, en particulier non récréative, serait en effet encouragée par la présence d'espaces verts urbains dans les quartiers présentant une densité de population suffisante (Pasanen, S., 2013). Malgré des résultats parfois mitigés ou tout au moins soumis à condition, tels que la nécessité d'une densité suffisante de population dans le travail de Sanna Maria Pasanen pour voir l'apparition d'une influence positive des espaces verts, et l'impossibilité actuelle d'affirmer des liens de causalité, il apparait de plus en plus important de prendre en compte ces espaces verts dans notre façon de penser les villes afin de promouvoir une meilleure hygiène

de vie. En se basant sur les résultats évoqués précédemment, une des stratégies efficaces afin d'encourager l'activité physique et une meilleure santé chez les populations urbaines pourrait être la création ou le maintien de larges espaces verts, visibles et bien entretenus, à proximité du lieu de résidence, en particulier dans les quartiers présentant une importante densité de population.

ii. Alimentation

L'alimentation joue un rôle primordial dans la santé humaine, par son apport de toutes formes de nutriments : protéines, graisses, sucres, fibres, vitamines et minéraux. Elle fait d'ailleurs partie des facteurs de risque inclus dans les buts de développement durable de l'Organisation Mondiale de la Santé (World Health Statistics, 2016).

La déclaration de Rome lors de la Seconde Conférence Internationale sur la Nutrition en 2014, organisée par la Food and Agriculture Organization des Nations Unies et l' l'Organisation Mondiale de la Santé (Second International Conference on Nutrition, 2014) réaffirme le droit de tous à l'accès à une nourriture saine, suffisante, et nourrissante, et reconnaît l'effet délétère de la malnutrition sous toutes ses formes, comprenant la dénutrition, le déficit en nutriments, le surpoids et l'obésité, sur la santé et le bien-être de l'être humain, notamment en impactant négativement le développement physique et cognitif, en compromettant le système immunitaire, en augmentant le risque de maladies infectieuses et non transmissibles et en entraînant des conséquences sociales et économiques négatives.

Les sociétés occidentales dites développées mais également les pays en voie de développement sont particulièrement confrontés à une explosion des maladies non transmissibles telles que les maladies cardiovasculaires, l'obésité, le diabète de type 2, les maladies neurodégénératives ainsi que de nombreuses formes de cancers, comme évoqué précédemment. La recherche scientifique met de plus en plus en cause l'alimentation come facteur de risque de ces maladies, notamment l'augmentation progressive et accélérée depuis plusieurs décennies des produits transformés, riches en sucres, sel, graisses en particulier saturées et produits chimiques tels que certains pesticides et additifs alimentaires.

En plus d'un surpoids et d'une obésité, une alimentation déséquilibrée peut conduire à des carences vitaminiques ou nutritionnelles influant sur les risques de morbidité et de mortalité, voire entraîner une dénutrition dans les cas les plus extrêmes de pauvreté et de famine. En effet, selon les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Santé, presque un demi-million de personnes dans le monde sont décédées de carences nutritionnelles en 2015, les populations les plus touchées étant les jeunes enfants et les personnes âgées.

L'absence de diversité dans le régime alimentaire est également un facteur de risque de malnutrition. Or, la diversité des aliments produits par l'agriculture en particulier industrielle a considérablement diminué depuis quelques dizaines d'années, conduisant à la production en monoculture d'un nombre réduit de variétés dont la plupart ont été génétiquement sélectionnées et modifiées pour atteindre un taux de production le plus avantageux possible, au détriment de la diversité génétique des différentes espèces autrefois cultivées.

L'agriculture industrialisée actuelle est également responsable d'une grande accélération de la perte de biodiversité par l'appauvrissement des sols, l'utilisation

d'engrais nitrés et de pesticides ainsi que les pratiques de monocultures et de sélection génétique pour plus de rentabilité (Wall et al., 2015).

La diversité alimentaire étant désormais reconnue comme un facteur de protection de la santé, elle doit donc être mise au centre des recommandations en termes de nutrition, d'autant plus que la littérature scientifique montre que dans de nombreux cas, les fruits et légumes oubliés ou sous-exploités sont plus riches en nutriments que ceux que nous utilisons le plus souvent. Cet objectif est soutenu par la Déclaration de Rome citée précédemment.

En ce qui concerne les recommandations nutritionnelles et alimentaires, l'importance de la consommation de produits végétaux est au cœur d'une meilleure alimentation : les céréales complètes, les oléagineux riches en acides gras insaturés, les légumineuses riches en protéines, mais surtout les fruits et légumes particulièrement riches en fibres, antioxydants, et vitamines, sont de la plus grande importance (Retelny et al., 2008). Or, les populations urbaines font la part belle aux produits animaliers, omniprésents dans énormément de produits transformés. Nous savons désormais qu'une trop forte consommation de viande et produits laitiers est un facteur de risque de maladies cardiovasculaires, mais ce n'est pas le seul avantage que présente la réduction de ce type d'aliment. En effet, l'élevage en particulier industriel d'animaux en vue de la consommation humaine est une des causes les plus importantes d'émission de gaz à effet de serre ainsi que de la destruction des sols.

La présence de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, tel que le dioxyde de carbone, peut notamment avoir des conséquences négatives sur le taux de zinc, de fer et de protéines dans certains aliments tels que les céréales et les légumineuses (Myers et al., 2014). Ceci peut poser problème dans le cas de populations se nourrissant reposant sur les céréales et légumineuses pour leurs apports de zinc, de fer et protéiques, augmentant le risque de carences.

La Déclaration de Rome sur la Nutrition reconnaît ainsi que le droit à une nourriture saine, diversifiée et équilibrée doit être mis en place par des systèmes alimentaires durables, équitables, accessibles, résilients et diversifiés. Il est donc très important de prendre en compte la biodiversité dans la mise en place de ces systèmes agricoles et d'utiliser tous les moyens à disposition, notamment les zones urbaines qui sont susceptibles d'accueillir des dispositifs agricoles classiques ou innovants.

La présence de biodiversité en ville peut ainsi se traduire par de l'agriculture urbaine et péri-urbaine, que ce soit sous forme de jardins partagés ou communautaires, de potagers de particuliers, ou encore de fermes urbaines et péri-urbaine. La nourriture ainsi produite et consommée localement comporte plusieurs bénéfices.

Tout d'abord, la proximité entre le lieu de production et celui de consommation permet de réduire l'impact carbone dû à l'acheminement de la nourriture dans les villes, généralement sur de longues distances en cas d'agriculture rurale. La pollution due à l'émission d'hydrocarbures se trouve alors réduite.

De plus, ces pratiques ont un impact sur la qualité nutritionnelle des aliments. En effet, puisque la durée d'acheminement est réduite, voire inexistante, la fraîcheur des aliments est conservée, augmentant ainsi la diversité et la qualité nutritionnelle de ces derniers. Cela permet également aux populations pauvres soit de produire elles-mêmes une partie de leur alimentation, soit d'avoir accès à des aliments de

qualité à des prix plus accessibles que dans les supermarchés, avec un impact positif sur la santé (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017).

Enfin, la culture de diverses variétés de fruits et légumes locaux ou encore l'apiculture sur les toits, en plus d'enrichir la biodiversité urbaine, permet d'accroître la diversité des aliments à disposition des habitants.

e. Allergies et maladies immunitaires

L'importance de conserver la richesse des sols et la biodiversité est multifactorielle : un sol biologiquement riche permet de faire pousser de la nourriture de qualité, riche en nutriments et pauvre en engrais et pesticides chimiques, absorbe plus facilement l'eau de pluie, et maintient les relations complexes et interconnectées au sein de l'écosystème qu'il supporte (Wall et al., 2015). Mais il existe également un autre effet plus surprenant sur la santé humaine.

En effet, selon Hanski et al. (2012), l'exposition aux microorganismes présents dans l'environnement et particulièrement dans les sols, pourrait diminuer la prévalence des maladies allergiques. En effet, la présence d'atopie a été associée à une plus faible biodiversité environnementale aux alentours du lieu de résidence ainsi qu'à une moindre diversité générique de gammaprotéobactéries sur la peau, suggérant une influence de l'environnement et de la biodiversité sur la formation et la composition de la flore commensale chez l'être humain.

Avec l'augmentation de la population dans les zones urbaines, qui devrait concerner les deux tiers de la population mondiale d'ici 2050 (United Nations, 2014), la prise en compte de la biodiversité en ville va se révéler très importante afin de permettre l'exposition de chacun aux microorganismes et allergènes naturels présents dans les sols comme sur la végétation et ainsi favoriser le développement d'un système immunitaire sain et diminuer le risque de manifestations allergiques (Kupryś-Lipińska et al., 2014).

Conserver et rétablir la biodiversité dans les sols fait d'ailleurs partie des objectifs de développement durable 2015 des Nations Unies, même si seulement 4 des 17 objectifs en font état.

2) Santé mentale

L'impact de l'environnement sur la santé mentale de l'être humain n'est pas anodin. Parmi l'abondance de littérature scientifique allant dans ce sens, les recherches et analyses de France E. Kuo ont notamment beaucoup œuvrées pour le démontrer.

Nous allons donc à présent nous intéresser aux différents aspects de la santé mentale qui peuvent être influencés par la présence de nature et de biodiversité, et leur importance dans la santé globale des individus.

a. Gestion du stress

De nombreuses études rapportent les bénéfices de la nature et de la présence de biodiversité pour la gestion du stress. Chez les individus vivant dans des environnements plus verts et ayant accès à des espaces riches en végétation, en particulier dans les zones urbaines de grande taille, ont été rapportées une réduction du stress (Kuo, 2001 ; Nielsen et Hansen, 2007 ; Ward Thompson et al., 2012 ; Ward Thompson et al., 2016) et une meilleure capacité à faire face aux problèmes et aux

grandes difficultés de la vie, particulièrement au sein des quartiers défavorisés (Kuo, 2001). Ces espaces peuvent être des jardins privés ou communautaires, des parcs publics, des arbres en bord de route, de la pelouse, des aires de jeux. L'accès à un jardin privé ou communautaire est d'ailleurs un facteur régulièrement et significativement associé à un niveau de stress ressenti plus faible (Nielsen et Hansen, 2007 ; Ward Thompson et al., 2016).

La disponibilité d'espaces verts à distance de la résidence peut également être particulièrement importante en temps de crise afin de diminuer les conséquences des évènements stressants de la vie sur la santé physique, la santé générale ressentie et, dans une moindre mesure, la santé mentale ressentie (Van den Berg et al., 2010). Ceci a été montré chez les enfants également, la nature proche du lieu de résidence présentant un effet tampon en réduisant l'impact des évènements stressants sur la détresse psychologique des enfants étudiés (Wells et Evans, 2003). Ces effets tampon apparaissent d'autant plus forts que les évènements auxquels sont exposés les enfants sont plus stressants.

Ces études soutiennent l'hypothèse que l'impact des évènements stressants de la vie est influencé par l'exposition à la nature. Pour expliquer le mécanisme par lequel la nature exerce cet effet tampon, ou peut-être plus exactement un des mécanismes qui sont très probablement multiples, les auteurs évoquent le rôle social envisagé des espaces verts, encourageant les rencontres et le lien social. Un autre mécanisme en accord avec la théorie de Kaplan (1995) sur le pouvoir de restauration de l'attention par la nature, est la capacité d'aider les enfants à penser plus clairement et faire face plus efficacement au stress de la vie.

Il est important de noter que l'effet tampon a été mis en évidence dans un environnement rural, où la nature est déjà relativement présente. Ainsi, les effets remarqués sont d'autant plus significatifs que même dans un environnement relativement naturel, plus d'exposition à la nature a un impact non négligeable. On peut donc attendre que cet effet soit encore plus marqué dans les zones urbaines où les habitants sont exposés à moins d'espaces verts que ceux des zones rurales.

Certains résultats viennent appuyer la théorie du rôle social des espaces verts en suggérant que la contribution de ceux-ci à la gestion du stress ne se fait pas nécessairement par une augmentation de l'activité physique, mais au moins partiellement par une sensation plus forte d'appartenance au quartier lors de la présence d'espaces verts, ainsi que par une diminution de l'isolement social lors de l'utilisation de jardins privés ou communautaires (Nowak et al., 2006).

Un autre mécanisme possible pour cet effet restaurateur serait l'expérience de la nature lors des déplacements dans le quartier en ayant à l'esprit un ou plusieurs buts différents de celui de visiter des espaces verts (Ward Thompson et al., 2016). Ceci concorde avec l'hypothèse que l'environnement résidentiel en lui-même peut être plus important dans l'expérience de nature des individus que le nombre de visites formelles et d'utilisation des espaces verts à proximité, en particulier s'il présente des éléments naturels. L'exposition visuelle en elle-même à la nature et à la verdure pourrait donc avoir une influence sur le niveau de stress.

En effet, une simple vue sur une colline ou un espace vert a été associée à une meilleure santé globale auto-estimée parmi une population défavorisée (Ward Thompson et al., 2016). Le même résultat a été obtenu non pas en fonction d'une vue depuis une fenêtre mais en fonction du taux de végétation présent dans les rues des quartiers en zone urbaine. La santé perçue et l'état de santé mentale se sont

révélés meilleurs avec une végétation de meilleure qualité et en plus grande quantité, le stress et la cohésion sociale apparaissant comme des facteurs primordiaux de médiation des effets de la végétation sur ces indicateurs de santé (De Vries et al., 2013).

Enfin, l'effet positif de la nature sur le stress a également été évalué d'un point de vue des marqueurs physiologiques. Une étude réalisée sur une population urbaine d'hommes et femmes d'âge moyen sans activité professionnelle vivant dans des quartiers défavorisés en Ecosse a établi une corrélation entre les mesures de cortisol, le stress ressenti ou physiologique, et le taux d'espaces verts présents aux environs de la résidence (Ward-Thompson et al., 2012). Pour cette population, un plus haut pourcentage d'espaces verts dans les quartiers résidentiels est lié à moins de stress ressenti et une diminution diurne du cortisol plus saine, chez l'homme comme chez la femme, même si les modalités de l'influence sur la courbe du cortisol présentent des variations en fonction du genre.

Ainsi, la présence de la nature à proximité ou à distance du lieu de résidence ainsi que l'accès à un jardin privé ou communautaire ont un impact sur la gestion du stress, en particulier dans les quartiers défavorisés. La littérature suggère que prendre en compte la végétation lors de la planification urbaine pourrait aider à diminuer le stress ressenti et à gérer les problèmes de la vie avec plus de clarté et de force mentale.

b. Autres états émotionnels

La variation des états émotionnels en fonction de l'exposition à la nature ont notamment été mis en évidence par Ulrich en présentant à des adultes des diapositives de différents paysages : strictement urbains, naturels contenant uniquement de la végétation et naturels contenant de l'eau (1981). D'une manière générale, par rapport aux influences des images urbaines, l'exposition aux deux catégories de vues naturelles, en particulier celles contenant de l'eau, ont eu des influences plus bénéfiques sur les états psychologiques. Les mesures physiologiques suggèrent ainsi une plus grande détente lors de la vue des scènes naturelles qu'urbaines, et un effet plus positif sur la tristesse et la peur.

L'effet de la nature sur l'état émotionnel passerait également par la qualité de l'environnement lors des déplacements à pied, qu'ils soient de nature récréative ou non (Aspinall et al., 2013). En effet, une marche de vingt-cinq minutes dans une zone urbaine végétalisée plutôt que dans des zones urbaines commerciales à Edimbourg a été associée à moins de frustration et de stimulation et un plus grand état méditatif, incitant à l'incorporation de zones végétalisées en zones urbaines afin d'améliorer l'humeur et l'état émotionnel. Une diminution des émotions de colère, de dépression, de tension et de confusion a également été corrélée à la visite à pied de sites nationaux d'héritage naturel dans l'est de l'Angleterre. Cette diminution s'est montrée proportionnelle à la durée de la visite, en association avec une augmentation de la vigueur (Barton et al., 2009). Le caractère social de cette activité a été rapporté par plusieurs participants, rejoignant la littérature déjà présente à ce sujet.

Ces résultats concordent avec ceux d'une étude réalisée en 1991 par Sheets et Manzer où au lieu de présenter aux individus des diapositives d'endroits différents, les auteurs ont profité de l'implantation de végétation dans la banlieue d'une grande agglomération pour utiliser des images du quartier avant et après l'ajout de végétation. Ils ont trouvé des résultats similaires au niveau des émotions, en

particulier la diminution de la tristesse et de la dépression lors de la vue de rues contenant des arbres. Les participants ont également rapporté se sentir plus amicaux et plus coopératifs.

Cette dernière étude suggère que les réponses affectives à la végétation ne sont pas limitées à celle des parcs ou des aires naturelles, mais que les réponses émotionnelles positives apparaissent indépendantes de l'usage de ces zones naturelles et de leur type. Ainsi, des arbres plantés le long d'une rue sont susceptibles d'avoir un impact significatif sur l'état émotionnel des résidents urbains dans leur vie de tous les jours, et doit donc être pris en compte lors des conceptions urbaines.

Les effets bénéfiques sur le bien-être psychologique ont par ailleurs été associés à la biodiversité dans une étude menée au Royaume Uni, augmentant avec la richesse des espèces végétales en particulier, et avec la richesse des espèces d'oiseaux dans une moindre mesure (Fuller et al., 2007).

c. Troubles de l'attention

i. Capacité attentionnelle

Une des théories les plus discutées lorsque l'on considère la capacité attentionnelle est la Théorie de Restauration de l'Attention de Kaplan (1995), selon laquelle tout effort mental prolongé conduit à une fatigue mentale nommée «attention dirigée». La capacité d'attention, diminuée, peut alors être rétablie dans des environnements naturels de par leur capacité innée à stimuler un type d'attention sans effort appelé par Kaplan « fascination », permettant à l'attention dirigée de se reposer et se restaurer.

Cette théorie considère l'attention comme étant particulièrement importante puisqu'elle permet de choisir de manière appropriée parmi les perceptions et actions disponibles à chaque instant. Cette capacité de sélection est essentielle pour réfléchir et résoudre des problèmes et des difficultés ainsi que la façon d'agir la plus bénéfique pour nous et les autres. L'attention sélective nous permet également de contrôler nos émotions et nos impulsions et d'ignorer les distractions potentielles. Pour Kaplan, c'est la clé de l'efficacité humaine, à la fois indépendamment et en relation avec les autres fonctions cognitives, c'est pourquoi sa restauration est d'une importance vitale.

Selon Kaplan, les éléments essentiels d'environnements ayant la capacité de restaurer l'attention sont les suivants :

- **la sensation d'être loin de son lieu de résidence habituel**, ce que peuvent fournir les environnements naturels même proches de chez soi
- **la fascination** : beaucoup d'éléments présents dans la nature peuvent être qualifiés de doux mais fascinants, tels que les nuages, les couchers de soleil, la neige, le mouvement des feuilles dans la brise… Porter son attention sur ces éléments ne demande pas d'effort et donne l'opportunité de penser à d'autres choses
- **l'étendue** : elle peut être littérale par exemple dans le cas de plaines sauvages, ou bien créée pour en donner l'illusion avec des chemins dans un espace assez peu étendu
- **la compatibilité**, naturellement ressentie dans la nature plus que pour les paysages urbains

De nombreuses études vont dans ce sens, notamment celle de Kuo[25] dont les résultats révèlent une performance attentionnelle systématiquement meilleure chez les individus vivant dans des environnements plus naturels et une gestion des problèmes majeurs plus efficace chez les individus présentant une performance attentionnelle robuste et chez ceux vivant dans des endroits plus verts. D'après l'auteur, l'effet des environnements plus verts pourrait être entièrement réalisé par l'attention.

Berto a également montré la corrélation entre les environnements naturels et la capacité d'attention (2005), établissant les environnements naturels comme restaurateurs de l'attention, comparativement aux environnements industrialisés et aux formes géométriques, même pour des expositions de courte durée. Ses résultats appuient la théorie selon laquelle seulement des environnements ayant un pouvoir élevé de récupération peuvent soulager la fatigue mentale et soutenir la récupération de la capacité attentionnelle.

ii. Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité

Le syndrome déficitaire de l'attention chez l'enfant réduit la capacité d'attention et présente ainsi des effets négatifs sur de nombreux aspects de la vie, de l'école aux relations interpersonnelles en passant par la croissance personnelle.
La réduction des symptômes du trouble déficitaire de l'attention par l'exposition à la nature a d'abord été mise en évidence à échelle réduite dans une étude contrôlée de terrain, non publiée, de A. Faber Taylor et F. E. Kuo en 2004, puis à plus grande échelle sur un panel plus large d'âges, de tailles de communautés et de régions géographiques (Kuo et Faber Taylor, 2004).

En effet, seuls les environnements extérieurs naturels – comparés aux environnements intérieurs et extérieurs construits – ont été associés à une réduction des symptômes du trouble déficitaire de l'attention, peu importe le contexte social, alors que les deux autres types d'environnement ont été corrélés à une absence de modification de ces symptômes, voire à leur aggravation.

Etant donné les caractéristiques de l'étude, ces résultats suggèrent que les activités en extérieur dans un environnement naturel sont bénéfiques pour la réduction des symptômes du trouble déficitaire de l'attention à la fois chez les garçons et les filles, d'âges allant de 5 à 18 ans, dont les familles perçoivent des revenus différents allant de moins de 25000 dollars à plus de 75000 dollars par an, vivant dans différentes régions des Etats Unis, dans des environnements allant du rural à des grandes villes, souffrant ou non d'hyperactivité en plus du trouble déficitaire de l'attention, pour des stades différents de sévérité des symptômes (sauf les symptômes très sévères pour lesquels la différence avec les environnement extérieurs construits n'était pas significative), et avec ou sans difficulté d'apprentissage associée. L'analyse a également montré que la réduction des symptômes était significativement plus élevée lors d'une même activité lorsqu'elle était réalisée dans des environnements verts plutôt que dans des environnements construits.

Cela représente donc une influence significative globale concernant une grande partie de la population infantile et adolescente affectée du trouble déficitaire de l'attention, avec un potentiel important de prise en charge de ce trouble par l'exposition à des environnements naturels au cours d'activités après scolaires classiques ou lors des weekends afin de permettre la réduction des symptômes.

Afin de répondre aux objections éventuelles, il est important de noter que la façon dont les analyses ont été menées dans cette étude permet d'argumenter contre l'attribution de la réduction des symptômes à d'autres facteurs tels que la différence entre les activités elles-mêmes, les qualités des environnements extérieurs telles que la liberté de mouvement et la différence des moyens de stimulation (comparaison entre environnement extérieur naturel et construit), ou bien l'opportunité de décharger l'énergie des impulsions liées à l'hyperactivité.

De plus, ce bénéfice semble se maintenir malgré une probable variation importante des spécificités des différents environnements puisque les sous populations diffèrent énormément dans la taille des communautés, la région de résidence aux Etats Unis ainsi que le niveau de salaire. Il est également important chez les enfants vivant en régions rurales et ne peut donc être attribué uniquement à l'apparition d'espaces verts dans le contexte des zones urbaines. Il n'apparaît pas non plus lié aux théories des parents sur la valeur de ce genre d'activités.

L'exposition à plus d'environnements naturels peut donc être une avancée dans le traitement du trouble déficitaire de l'attention, en association avec les traitements médicamenteux si nécessaire, et pourrait même améliorer les effets de ces traitements chez les enfants qui y sont relativement résistants. Cela pourrait également permettre la réduction de la dose de ces médicaments qui présentent divers effets indésirables dont la perte d'appétit et la perte de sommeil, qui ne sont pas sans conséquence lors des périodes de croissance, voire leur arrêt complet lorsque les symptômes le permettent. C'est également un outil potentiel non négligeable pour les enfants chez qui les traitements médicamenteux sont contre indiqués. De plus, elle a un coût très faible voire nul et évite la stigmatisation de ces enfants déjà en difficulté. Une dose la plus régulière possible de nature et d'activités en espaces verts serait donc susceptible d'aider ces enfants à mieux fonctionner à l'école et à la maison afin de se sentir plus en harmonie avec la vie en société et d'acquérir les outils qui leur permettront de s'intégrer et de s'épanouir dans leur vie d'adulte.

Une autre étude dans laquelle Kuo a participé, qui se base sur la théorie du pouvoir de restauration de l'attention de la nature de Kaplan, a également montré des effets bénéfiques de la réalisation d'activités reposantes dans des environnements extérieurs verts sur certains symptômes de trouble déficitaire de l'attention, en particulier liés au niveau de verdure de l'environnement de jeu (Taylor et al., 2001).

Un des intérêts majeurs de cette étude est que plusieurs explications alternatives à ces effets bénéfiques ont été testées, telles que l'environnement social du sujet, l'activité physique, le type d'activité, la préférence pour la nature, la prise de traitement ou le fait d'être en environnement extérieur, et aucune d'entre elle n'a pu expliquer autrement la corrélation entre la nature et l'attention des enfants.

Cette étude est d'autant plus intéressante que même si elle est basée sur un modèle de corrélation et non de causalité, elle fournit un support pour une interprétation de causalité. En effet, elle se réfère au fonctionnement de l'attention directement après les activités, il semble ainsi plus plausible que la participation à des activités dans des environnements naturels ait amélioré le fonctionnement de l'attention plutôt que l'amélioration du fonctionnement de l'attention ait entraîné la participation à ces activités.

Enfin, les résultats établissent une forte relation entre nature et attention puisque les activités effectuées en milieu naturel sont associées avec un meilleur fonctionnement de l'attention comparé à d'autres environnements chez le même individu.

Cependant, contrairement à l'étude précédente, la méthode utilisée ne permet pas de généraliser les résultats obtenus à une large population.

iii. Synthèse

Malgré leurs limitations respectives, l'ensemble de ces études suggère que la présence d'environnements naturels a un effet bénéfique sur la capacité d'attention, à la fois chez des adultes sans pathologie préexistante à ce niveau-là que chez des enfants atteints de trouble déficitaire de l'attention associé ou non à de l'hyperactivité. Ainsi, il est possible de dessiner, créer et construire des environnements urbains extérieurs et intérieurs, en particulier les écoles, hôpitaux voire les résidences pour personnes âgées en y incluant des éléments naturels de manière optimale afin d'encourager la récupération de la fatigue mentale, très présente dans le monde actuel où l'information est omniprésente, et d'améliorer la capacité d'attention afin de gérer au mieux les difficultés et obstacles que chacun rencontre sur sa route.

d. Estime de soi

L'exposition à la nature a été plusieurs fois associée à une estime de soi plus importante.

Tout d'abord, parmi une population d'enfants vivant à Edimbourg, qui ont rapporté une plus grande qualité de vie relative à la santé et une plus grande estime de soi lorsqu'ils faisaient une utilisation plus importante des espaces verts (McCracken et al., 2016).

Ensuite, toujours parmi une population d'enfants, une plus haute estime de soi a été associée à une présence plus importante de nature à proximité du lieu de résidence (Wells et Evans, 2003).

Enfin, au sein de visiteurs pédestres de sites nationaux d'héritage naturel dans l'est de l'Angleterre (Barton et al., 2009), les visiteurs quittant le site ont présenté une augmentation significative de l'estime de soi, en rapport direct avec le temps de visite.

3) Vie en communauté, violence et criminalité

Au-delà de l'importance de la cohésion et du lien social mentionnée précédemment, la vie en communauté peut s'avérer difficile et dangereuse, en particulier dans les quartiers défavorisés des villes qui présentent de nombreuses inégalités de santé et des taux de violence et de criminalité plus élevés que le reste de la ville.

Là encore, la nature peut jouer un rôle : une étude (Mitchell et Popham, 2008) a mis en évidence moins d'inégalité en termes de problèmes de santé dus à des salaires précaires chez les individus exposés à des environnements plus naturels. Ses implications sont claires : les environnements favorables à une meilleure santé peuvent être un élément clé dans la lutte contre les inégalités de santé.

Par ailleurs, la présence d'arbres et de végétation dense a souvent été associée à la peur, en particulier la peur du crime, en comparaison à des espaces où la vue porte plus loin. Cependant, certaines recherches ont été menées afin de déterminer les circonstances dans lesquelles ceci pourrait s'avérer différent, en étudiant notamment l'influence de la végétation sur le nombre de crime dans les quartiers défavorisés des villes (Kuo et Sullivan, 2001).

L'hypothèse des auteurs est que certaines formes de végétation ne diminuent pas ou très peu la visibilité, telles qu'une pelouse bien entretenue, des arbres à feuillage haut assez espacés ou des fleurs et arbustes de faible taille, ne fournissant ainsi pas de couverture pour des activités criminelles.

De plus, de par la présence d'arbres et d'éléments naturels, les espaces extérieurs seraient susceptibles d'être plus utilisés et donc d'augmenter la surveillance informelles par les citadins ainsi que de diminuer la fatigue mentale pouvant conduire à de l'irritabilité, de l'inattention et un moins bon contrôle des impulsions, précurseurs de violence.

L'étude examine donc la relation entre végétation et crime dans un quartier défavorisé en utilisant les rapports de police concernant les crimes commis à l'extérieur des bâtiments résidentiels dans un quartier défavorisé de Chicago pendant 2 ans. Les rapports concernent les crimes de propriétés, les crimes violents ainsi que le total des crimes. La quantité d'arbres et la présence de pelouse en dehors de chaque bâtiment est utilisée pour prédire le nombre de crimes.

Les résultats indiquent que plus l'extérieur d'un bâtiment est entouré de végétation, plus le nombre total de crimes rapportés est faible. Cette relation est significative à la fois pour les crimes de propriétés et pour les crimes violents, et est d'autant plus forte que l'on compare les bâtiments avec de faibles niveaux de végétation et ceux avec des niveaux de végétation moyens à élevés. Elle se maintient même après avoir pris en compte d'autres facteurs tels que le nombre d'appartements par bâtiment, la hauteur du bâtiment, le taux d'appartements vacants et le nombre d'appartements occupés par bâtiment.

Enfin, parmi toutes les combinaisons possibles de facteurs de prédiction des crimes, la végétation a été identifiée comme un des deux seuls facteurs du meilleur modèle retenu.

Ainsi, Kuo parvient à montrer que la végétation n'est pas toujours synonyme de peur et de criminalité, et qu'elle peut même être associée à une baisse de celle-ci.

Par ailleurs, son étude sur la transformation des quartiers défavorisés au centre des grandes villes en 1998 (Kuo et al., 1998) met en évidence une réponse positive de grande envergure des habitants par rapport à la plantation d'arbres et l'entretien de la pelouse, ces derniers ayant même voté pour la densité d'arbres plantés la plus élevée parmi celles proposées, y associant une plus grande sensation de sécurité.

Ces résultats suggèrent donc une importance non négligeable de l'aménagement urbain des quartiers défavorisés en faveur d'éléments naturels tels que la plantation d'arbres et l'entretien des espaces verts afin d'améliorer le sentiment de sécurité des habitants. Afin que ces programmes de verdissement des quartiers défavorisés soient viables sur le long terme, cette étude suggère d'impliquer les habitants de ces quartiers non seulement dans la réalisation et l'entretien des éléments naturels mais également dans la prise de décision et la conception précédant leur mise en place, et offre des arguments en faveur d'une telle volonté d'implication de leur part.

Ainsi, les coûts sur le long terme ont le potentiel d'être largement amortis lorsqu'on considère tous les bénéfices apportés par les espaces verts pour la qualité de vie, la sécurité et la santé des habitants.

4) Maladie d'Alzheimer et autres démences cérébrales

Même si la connaissance dans le domaine des effets de l'exposition à plus de biodiversité chez les personnes atteintes de démences telles que la maladie d'Alzheimer est toujours limitée à l'heure actuelle, les informations disponibles sont en général prometteuses (Gonzalez et Kirkevold, 2014).

En effet, l'utilisation d'un jardin dans les unités de prises en charge des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer a été associée à une augmentation du plaisir et du bien-être (Cox et al., 2004 ; Mooney et Nicell, 1992), une tendance à animer et engager les résidents (Cox et al., 2004), une diminution des incidents comportementaux (Mooney et Nicell, 1992) et le maintien d'un bien-être ou d'un équilibre émotionnel malgré le caractère dégénératif de la maladie (Mooney et Nicell, 1992). Enfin, l'augmentation du temps passé à l'extérieur pour ces personnes a été corrélée à une légère amélioration de la qualité de sommeil (Calkins et al., 2007).

Malgré des résultats statistiques encore peu nombreux, les retours qualitatifs des résidents, des membres du personnel et des visiteurs par rapport à la présence de jardins thérapeutiques dans les unités de prise en charge ont été très positifs (Cox et al., 2004) et amènent à les développer de plus en plus afin d'augmenter le bien-être et la qualité de vie des personnes atteintes de démence et d'essayer de ralentir la progression de la maladie.

5) Gestion de la douleur et durée d'hospitalisation après chirurgie

L'hospitalisation et les gestes de soin, d'examen et de chirurgies pratiqués par les équipes médicales peuvent être douloureux, stressants et difficilement vécus par les patients.

Or, plusieurs recherches scientifiques montrent que la présence de visuels et de bruits de nature peut avoir une influence positive sur ces aspects inconfortables, par exemple en réduisant la douleur lors de procédures invasives douloureuses (Diette et al., 2003).

La présence de visuels naturels, dans ce cas une fenêtre avec vue sur un arbre au lieu d'un mur, a également été associée à une durée d'hospitalisation post-opératoire réduite après une chirurgie de cholécystectomie (Ulrich, 1984). L'évaluation des infirmières a également comporté moins de commentaires négatifs, les patients ont pris de plus petites doses d'antalgiques modérés à forts, et ont présenté légèrement moins de complications post-chirurgicales mineures.

Ces résultats suggèrent que la scène naturelle a exercé une influence thérapeutique en comparaison avec la scène construite, même si ces conclusions ne peuvent être étendues à toutes les vues de constructions, ni à d'autres groupes de patients, en particulier les patients de longue durée qui peuvent souffrir d'ennui plutôt que de l'anxiété typiquement associée aux procédures de chirurgie.

Malgré la prudence concernant la généralisation de cette interprétation et les limitations de l'étude, ces résultats impliquent que la conception des hôpitaux et la prise de décisions concernant les sites hébergeant des structures médicales devraient prendre en compte la qualité de vue des patients depuis la fenêtre de leur chambre.

6) Espèces opportunistes et maladies infectieuses

Les maladies infectieuses sont un des problèmes actuels majeurs, en particulier avec la mondialisation et l'introduction de parasites vecteurs potentiels de micro-organismes pathogènes dans de nouvelles régions du monde, augmentant ainsi les chances d'exposition à ces pathogènes pour des populations autrefois non exposées. Ainsi, les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Santé montrent qu'environ 9 millions de personnes sont décédées de maladies infectieuses en 2015. De nouvelles découvertes de zoonoses se produisent régulièrement et l'apparition de résistances aux traitements médicamenteux chez les micro-organismes responsables en fait un sujet de santé publique primordial.

Ces maladies infectieuses peuvent être transmises de manière directe ou par l'intermédiaire de vecteurs. On distingue donc les populations hôtes de type réservoir et de type vecteur.

Une étude réalisée sur une partie de l'Asie (Morand et al., 2014) a établi un lien positif entre la présence d'une biodiversité élevée dans un pays, en particulier en termes d'oiseaux et de mammifères, et une plus grande diversité de maladies infectieuses. Cette plus grande diversité a également été corrélée à une taille importante de la population et une température élevée.

Cependant, cette même étude a mis en évidence que la perte de biodiversité à laquelle nous assistons depuis plusieurs dizaines d'années pourrait être à l'origine d'un plus grand nombre d'épidémies.

L'effet de dilution est également un phénomène étudié pour caractériser l'influence de la biodiversité sur la transmission des malades infectieuses. Cet effet de dilution pourrait intervenir par différents mécanismes, tels que, dans le cas d'une augmentation de la diversité des hôtes, une réduction de la probabilité de transmission de la maladie de l'hôte infecté au vecteur, une réduction du taux de rencontres entre les hôtes et les vecteurs infectés, une réduction du nombre d'hôtes potentiels, une réduction de la densité de vecteurs infectés et une guérison plus rapide des hôtes infectés (Keesing et al., 2006).

Cet effet de dilution a particulièrement été étudié dans le cas de la maladie de Lyme dont la bactérie responsable, *Borrelia burgdorferi*, est transmise à l'être humain par des tiques qui en sont donc les vecteurs. Les hôtes de la bactérie sont nombreux mais certaines espèces sont considérées comme des réservoirs de la bactérie.

Une étude réalisée dans le sud-est de l'état de New York (LoGiudice et al., 2003) est allée dans le sens de la réduction de l'incidence de la maladie de Lyme lorsque de nouvelles espèces d'hôtes ont été ajoutées à l'espèce réservoir localement la plus compétente, la souris à pattes blanches, en réduisant la prévalence de l'infection de la nymphe de tique qui est un facteur de risque clé.

Une plus grande diversité d'espèces de rongeurs nocturnes a également révélé une prévalence plus faible du Sin Nombre Virus chez la souris sylvestre, son réservoir principal (Clay et al., 2009).

Cependant, l'effet de dilution est susceptible de varier d'un pathogène à l'autre et ne peut être généralisé. La possibilité d'un effet d'amplification est également à considérer au cas par cas.

À l'inverse, l'introduction de nouvelles espèces étrangères aux espèces locales peut présenter un danger.

On peut par exemple citer le Tamia Sibérien (*Tamias sibiricus*), petit rongeur terrestre introduit en Europe dans les années 1970, suspecté d'être un réservoir pour *Borrelia burgdorferi*, comme le suggère une étude menée dans les forêts suburbaines de France (Vourc'h et al., 2007).

Les maladies infectieuses pourraient également être influencées par la fragmentation des habitats tels que les forêts. À Dutchess County, New York, le paysage fragmenté a révélé que plus les fragments forestiers étaient de petite taille, plus la densité des nymphes de tique, la prévalence de l'infection de ces nymphes et la densité de nymphes infectées étaient importantes (Allan et al., 2003). Ces mesures concernant les nymphes sont des indicateurs écologiques du risque de la maladie de Lyme pour la population humaine qui entre dans l'habitat de la tique. D'après les auteurs, le risque élevé d'exposition à la maladie de Lyme dans les parcelles de forêt les plus petites peut être expliquée par deux phénomènes inter corrélés.

Tout d'abord, la fragmentation des forêts entraîne la perte de nombreuses espèces de vertébrés dans les plus petites parcelles (Blake et Karr, 1987). Cependant, les souris à pattes blanches, le principal réservoir de la bactérie, ne sont pas réellement affectées par cette fragmentation et sont donc relativement abondantes dans les plus petites parcelles. Deuxièmement, car les espèces de vertébrés perdues dans les petits fragments ont tendance à être des prédateurs de ces souris ou bien des espèces entrant en compétition avec elles, renforçant d'autant plus leur densité absolue de par la plus faible régulation naturelle de cette espèce.

Un autre exemple de l'effet de dilution se trouve dans l'association d'une plus grande diversité d'hôtes aviaires à une moindre prévalence de l'infection par le virus du Nil Occidental dans différents comtés de l'est des Etats Unis, que ce soit avant la détection de ce virus dans ces régions en 1998 ou au cours de la première année d'épidémie en 2002, renforçant cette hypothèse (Swaddle et Calos, 2008).

On voit donc bien ici que la biodiversité parmi les hôtes ne suit pas un modèle unique dans son influence sur les maladies infectieuses, et qu'il faut analyser la situation au cas par cas. Cependant, l'effet de dilution apparaît le plus souvent lié à une réduction de la prévalence des maladies transmises par vecteurs.

Dans la préservation de la biodiversité, le respect des espèces locales est également très important, puisque l'introduction d'espèces exotiques est susceptible de perturber l'équilibre de l'écosystème local et d'engendrer des épidémies de maladies infectieuses, qu'elles soient humaines ou qu'elles concernent les autres règnes.

7) Synthèse de l'impact de la biodiversité sur la santé humaine

L'impact de la biodiversité, principalement par l'exposition à la nature et la biodiversité, est associé à différents indicateurs de santé (Figure 5).

Il est cependant important de préciser que les liens de corrélation mis en évidence ne sont cependant pas des liens de causalité puisque les études n'ont pas permis de les établir.

Indicateur de santé	**Impact de la Biodiversité (exposition à la nature)**
Asthme et pathologies respiratoires	Diminution de la pollution atmosphérique Amélioration de la prévalence de l'asthme
Maladies cardiovasculaires	Diminution de la pollution atmosphérique Amélioration de l'état psychologique Diminution des risques cardiovasculaires
Surpoids et obésité	Influence positive sur l'IMC Encouragement à l'activité physique
Allergies et maladies immunitaires	Plus grande diversité de la flore commensale Système immunitaire plus résilient Diminution du risque d'affections allergiques
Bien-être psychologique	Réduction du stress Effet tampon contre les évènements difficiles et stressants Réduction des émotions difficiles Augmentation de l'estime de soi Restauration de l'attention Diminution des symptômes du trouble déficitaire de l'attention
Vie en communauté, violence et criminalité	Renforcement du lien social Augmentation de la sensation de sécurité (selon l'agencement de la végétation) Diminution de la criminalité
Démences	Amélioration du bien-être Amélioration légère du sommeil Frein à l'évolution de l'agressivité Diminution des incidents comportementaux
Temps d'hospitalisation, récupération après chirurgie	Durée d'hospitalisation moins longue Recours diminué aux antalgiques forts Meilleure humeur Moins de complications mineures post chirurgicales

Maladies infectieuses	Augmentation du nombre de maladies infectieuses Diminution des épidémies Effet de dilution/ Effet d'accumulation
Alimentation	Augmentation de la diversité et de la valeur nutritionnelle des aliments Amélioration de l'alimentation des populations défavorisées Impact indirect sur la pollution

Figure 5. Impacts de la biodiversité sur différents indicateurs de santé humaine.

La biodiversité a ainsi été associée à de nombreux facteurs de santé, en particulier par rapport à la présence de végétation et d'espaces verts à proximité des lieux de vie. Elle agit ainsi simultanément sur l'ensemble du bien-être psychologique et physique de l'être humain par des liens complexes et a un rôle à jouer dans la prévention de nombreuses maladies, notamment les maladies non transmissibles qui représentent un défi majeur mais pour lesquelles il est possible d'agir en amont sur de nombreux points.

Elle est également importante à prendre en compte pour réduire les inégalités de santé des quartiers défavorisés des grandes villes et améliorer leur qualité de vie et doit être intégrée dans les plans d'urbanisation et la conception des zones urbaines de différentes manières que nous allons aborder dans la troisième et dernière partie.

Enfin, une réflexion est primordiale sur les moyens à utiliser, les procédés à employer et la qualité de la biodiversité que l'on souhaite préserver ou rétablir selon les besoins, notamment dans la lutte contre la pollution atmosphérique, mais également pour s'assurer du maintien de l'équilibre de l'écosystème considéré afin d'éviter un déséquilibre en faveur d'une espèce exotique qui se développerait au détriment des espèces locales et pourrait donner lieu à des épidémies, surtout si elle a un rôle de vecteur d'agent infectieux.

PARTIE III – REINTEGRER ET PROTEGER LA BIODIVERSITE EN VILLE

1) Protection, conservation et restauration des zones naturelles non urbaines

Au départ des considérations internationales concernant la biodiversité, les stratégies se sont surtout portées sur la conservation de la biodiversité dans son état naturel, en particulier dans les zones peu touchées par les activités humaines. Ainsi, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature a défini six catégories de zones protégées : les réserves naturelles strictes et les zones sauvages forment la première catégorie, puis viennent en second les parcs nationaux, puis les monuments naturels, les habitats ou les zones de gestion des espèces, les paysages terrestres et marins protégés, et enfin les zones protégées avec une utilisation durable des ressources naturelles (International Union for Conservation of Nature, 2017).

Selon le rapport de 2014 du Programme Environnemental des Nations Unies, il y a dans le monde pas moins de 209429 zones protégées qui couvrent un total de plus de 32 millions de kilomètres carrés, ce qui représente une surface plus grande que le continent africain. Au total, 3.41% des zones marines et 14% des zones terrestres mondiales sont actuellement protégées (Deguignet et al., 2014).

Ces aires protégées jouent un rôle dans le maintien ou l'enrichissement de la biodiversité urbaine, tout d'abord car elles peuvent servir de réservoirs de biodiversité ou « ceinture verte » à une certaine proximité des villes, voire de corridors écologiques, mais également de vecteur et d'outil d'éducation et de sensibilisation du public à ce sujet.

Les parcs nationaux font partie de ces moyens disponibles afin d'éduquer le public non averti à la valeur de la biodiversité, particulièrement la biodiversité locale. Selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature ce sont de « grandes zones naturelles ou quasi naturelles mises de côté afin de protéger des processus écologiques à grande échelle, ainsi que des espèces et des écosystèmes caractéristiques de la région, assurant également une fondation pour des opportunités spirituelles, scientifiques, éducatives, récréatives et touristiques environnementalement et culturellement compatibles ». L'objectif principal des parcs nationaux est de protéger la biodiversité naturelle en même temps que sa structure écologique sous-jacente et ses processus environnementaux. C'est également de permettre la promotion de l'éducation et des loisirs (International Union for Conservation of Nature, 2017).

Yellowstone Park aux Etats-Unis a été le premier à être désigné comme parc national en 1872 (National Park System, 2017), suivi par de nombreux autres tels que le Yosemite National Park (Figure 6) aboutissant à un total de 59 parcs nationaux répartis sur le territoire américain. Ces parcs font partie des 417 zones protégées au sein des Etats-Unis, comprenant également réserves, monuments, fleuves ou encore sites historiques nationaux (National Park System, 2017).

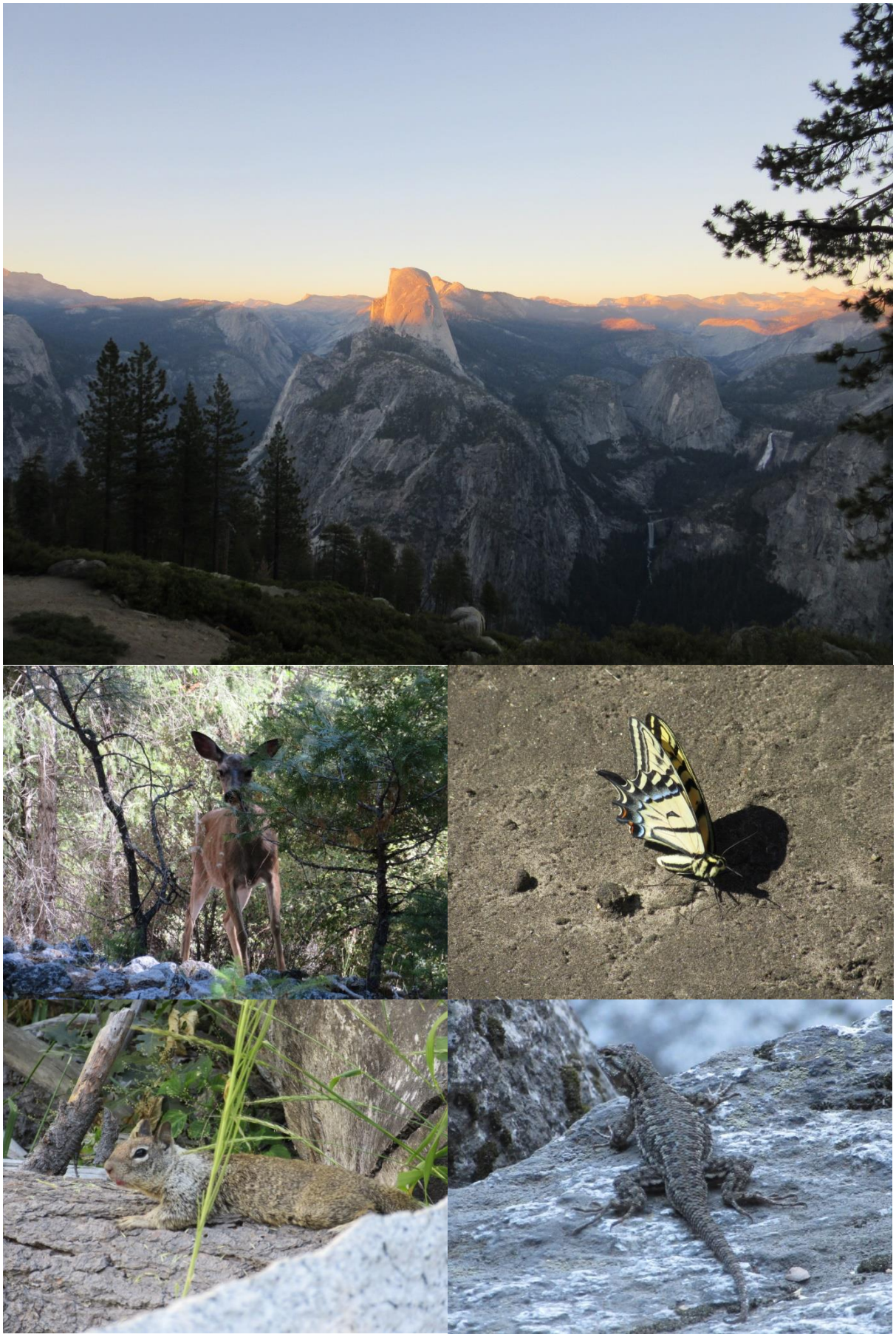

Figure 6. Photos du Yosemite National Park et de la faune rencontrée, Californie, Etats Unis, 2016.

En France, selon la loi du 8 août 2016 faisant suite à la loi fondatrice n° 60-708 du 22 juillet 1960 et celle du 14 avril 2006 (Code de l'Environnement, 2017 : Article L331-1) :

« Un parc national peut être créé à partir d'espaces terrestres ou maritimes, lorsque le milieu naturel, particulièrement la faune, la flore, le sol, le sous-sol, l'atmosphère et les eaux, les paysages et, le cas échéant, le patrimoine culturel qu'ils comportent présentent un intérêt spécial et qu'il importe d'en assurer la protection en les préservant des dégradations et des atteintes susceptibles d'en altérer la diversité, la composition, l'aspect et l'évolution.

Il est composé d'un ou plusieurs cœurs, définis comme les espaces terrestres et maritimes à protéger, ainsi que d'une aire d'adhésion, définie comme tout ou partie du territoire des communes qui, ayant vocation à faire partie du parc national en raison notamment de leur continuité géographique ou de leur solidarité écologique avec le cœur, ont décidé d'adhérer à la charte du parc national et de concourir volontairement à cette protection. Il peut comprendre des espaces appartenant au domaine public maritime ou au plateau continental et aux eaux sous souveraineté ou sous juridiction de l'Etat, en conformité avec la convention des Nations Unies sur le droit de la mer, conclue à Montego Bay le 10 décembre 1982, notamment ses parties V, VI et XII.»

Ainsi, les territoires français de métropole et d'outre-mer contiennent 10 parcs nationaux : la Vanoise (1963), Port-Cros (1963), les Pyrénées (1967), les Cévennes (1970), les Ecrins (1973), le Mercantour (1979), la Guadeloupe (1989), La Réunion (2007), la Guyane (2007) et les Calanques (2012). Ils représentent par leur périmètre maximum près de 9,5% du territoire français et attirent plus de 8,5 millions de visiteurs par an. Un projet de 11ème parc national, le GIP des forêts de Champagne-Bourgogne, est en cours, mais son avancement a été retardé en février 2017 par quelques opposants au projet (Agence Française pour la Biodiversité, 2017a).

Ces parcs nationaux ont une mission de connaissance des espèces, milieux et paysages qui les composent ainsi que de leur patrimoine culturel, afin de mener à bien leur rôle de protection de ces écosystèmes, ainsi que de mettre en place s'il est nécessaire des actions de restauration, de contrôle des espèces envahissantes ou encore de réintroduction des espèces, comme cela a été le cas dans le Parc National de Yellowstone avec la réintroduction réussie de loups à partir de 1995 (Smith et al., 2015).

Afin de satisfaire à ce besoin de connaissance, différents moyens peuvent être mis en œuvre, tels que les inventaires, les suivis, ou les études. Un des inventaires de faune et de flore les plus ambitieux de la planète a d'ailleurs été lancé en 2007 dans le Parc National du Mercantour et son voisin italien le Parco Naturale Alpi Marittime, et a permis d'inventorier plus de 10000 espèces, certaines décrites pour la première fois (Agence Française pour la Biodiversité, 2017b). Depuis la création du premier Parc national français en 1963, au moins 525 opérations scientifiques ont été menées, avec une augmentation presque continue du nombre d'opérations réalisées et du nombre d'opérations en cours au fil des années (Besnard et al., 2011).

Il existe également en France des Parcs Naturels Régionaux, dont la réglementation est moins stricte que les parcs nationaux, mais dont les objectifs sont similaires : participer à la politique de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, de développement économique et social et d'éducation et de formation

du public (Code de l'Environnement, 2017 : Article L333-1). Ils ont donc un rôle à jouer dans la propagation de l'urbanisation, particulièrement l'étalement urbain qui touche les zones rurales, ainsi que dans l'éducation et la sensibilisation de la population à la biodiversité.

De plus, des réserves naturelles peuvent être créées « lorsque la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux et de fossiles et, en général, du milieu naturel présente une importance particulière ou qu'il convient de les soustraire à toute intervention artificielle susceptible de les dégrader » (Code de l'Environnement, 2017 : Article L332-1). Ceci peut concerner à la fois des parties du territoire terrestre ou maritime d'une ou de plusieurs communes, des zones régionales et des zones nationales (Code de l'Environnement, 2017 : articles L332-1, L332-2, L332-2-1 et leurs modifications ultérieures).

De nombreux autres dispositifs de conservation existent, notamment les sites protégés par des directives européennes, dont le réseau Natura 2000 issu de la directive « habitats, faune, flore » (Journal Officiel des Communautés Européennes n°L 206 du 22/07/01992), dont les sites d'importance communautaires sont sélectionnés par la Commission Européenne et classés ensuite en Zones Spéciales de Conservation ou en Zones de Protection Spéciales (Inventaire National du Patrimoine Naturel, 2017). Au niveau international, les réserves de biosphère ont pour objectif l'intégration harmonieuse de l'homme et de la nature, s'inscrivant dans une dynamique de développement durable. En avril 2016, 669 réserves de biosphère étaient réparties dans 120 pays, dont 14 réserves situées en France, notamment le Mont Ventoux, l'Archipel de la Guadeloupe ou encore le Bassin de la Dordogne (Unesco, 2017).

2) Conservation des zones naturelles péri-urbaines

Comme le montrent certaines études, les zones naturelles péri-urbaines, en particulier de grande taille, peuvent avoir une influence positive sur la présence faunique dans les villes (Snep et al., 2006).

Plusieurs stratégies sont possibles afin de protéger et de conserver ces zones de grande importance pour la biodiversité, y compris urbaine.

a. Forêts de protection

Les forêts de protection définies par l'article L141-1 du Code forestier sont celles dont la conservation est reconnue nécessaire pour des raisons écologiques ou de bien-être de la population, pour la protection des terres soumises à des risques de détérioration tels que l'érosion, les avalanches ou l'envahissement des eaux notamment, et enfin les bois et forêts situés à la périphérie des grandes agglomérations.

En 2013, 150.410 hectares étaient concernés par ce statut, soit 1% de la surface forestière métropolitaine.

Parmi ces hectares, presque 80000 étaient des forêts ou bois périurbains, dont la forêt de Fontainebleau, la forêt de Rambouillet, le massif du Rouvray, la forêt de Dreux ou encore la forêt d'Evreux et ses massifs périphériques (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013).

En effet, comme mentionné précédemment, le maintien de zones naturelles telles que les forêts proches des villes permet de préserver des réservoirs de biodiversité nécessaires à la survie et au développement de nombreuses espèces dans les zones urbaines (Villaseñor et al., 2017).

b. Limitation de l'étalement urbain

L'urbanisation peut se faire selon différentes dynamiques, dont deux principales : la densification urbaine, en particulier avec les immeubles à étages offrant de nombreux lieux de résidence pour une superficie d'occupation au sol relativement faible, ou bien l'étalement urbain, qui se caractérise surtout par des quartiers résidentiels qui s'étalent à partir du centre des grandes agglomérations jusqu'à former des communes ou villes suburbaines. Cette stratégie s'est beaucoup développée particulièrement aux Etats-Unis et en Europe après la révolution industrielle et le développement des moyens de transport rapides (Ignatieva et Stewart, 2009). Que ce soient des pavillons individuels accolés avec jardins particuliers ou bien des immeubles entourés d'espaces verts, l'impact de l'artificialisation et de la fragmentation des sols est bien réel.

Ainsi, une planification urbaine limitant cet étalement urbain et favorisant la densification urbaine peut être une réponse à la perte de la biodiversité. Une étude au cas par cas est néanmoins importante afin de déterminer localement quelles sont les zones les plus critiques en termes de protection de la biodiversité.

c. Stratégies d'urbanisation axées sur la conservation

Lorsque l'on choisit tout de même de construire en zone suburbaine ou rurale, il existe certaines façons de planifier et de construire qui minimisent l'impact sur la biodiversité.

Par exemple, dans son Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable, l'Unité ministérielle de recherche et de veille de la Direction générale des politiques du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire du Québec s'appuie sur les travaux de Randall Arendt afin de proposer des lotissements types axés sur la conservation (Boucher et Fontaine, 2010).

Le but est de conserver une portion des milieux naturels en établissant des zones de conservation prioritaires et secondaires, puis des zones de construction qui s'articuleront en forme de grappe au milieu ou autour des zones de conservation. La densité des habitations peut varier et les voiries ont une longueur limitée afin de protéger les éléments naturels.

Dans le but de connaître les zones de haute valeur écologique, qui sont donc prioritaires en termes de protection, il est nécessaire de prendre en compte et d'étudier de nombreux facteurs, notamment les composantes de la biodiversité. Ainsi, il est important de caractériser les différents types d'habitats, leur organisation et leur état, et de conduire un inventaire des espèces qui y vivent, particulièrement les espèces menacées et les espèces envahissantes. Il sera également intéressant de connaître les forces, faiblesses, avantages et menaces qui concernent la zone étudiée.

Dans un séminaire sur le Design de Collectivité Durable en 2010 dans la province du Nouveau Brunswick, Daniel Savard du Ministère de l'Environnement du Canada présente la transition entre des lotissements plus classiques et le nouveau design basé sur les travaux de Randall Arendt (Figure 7).

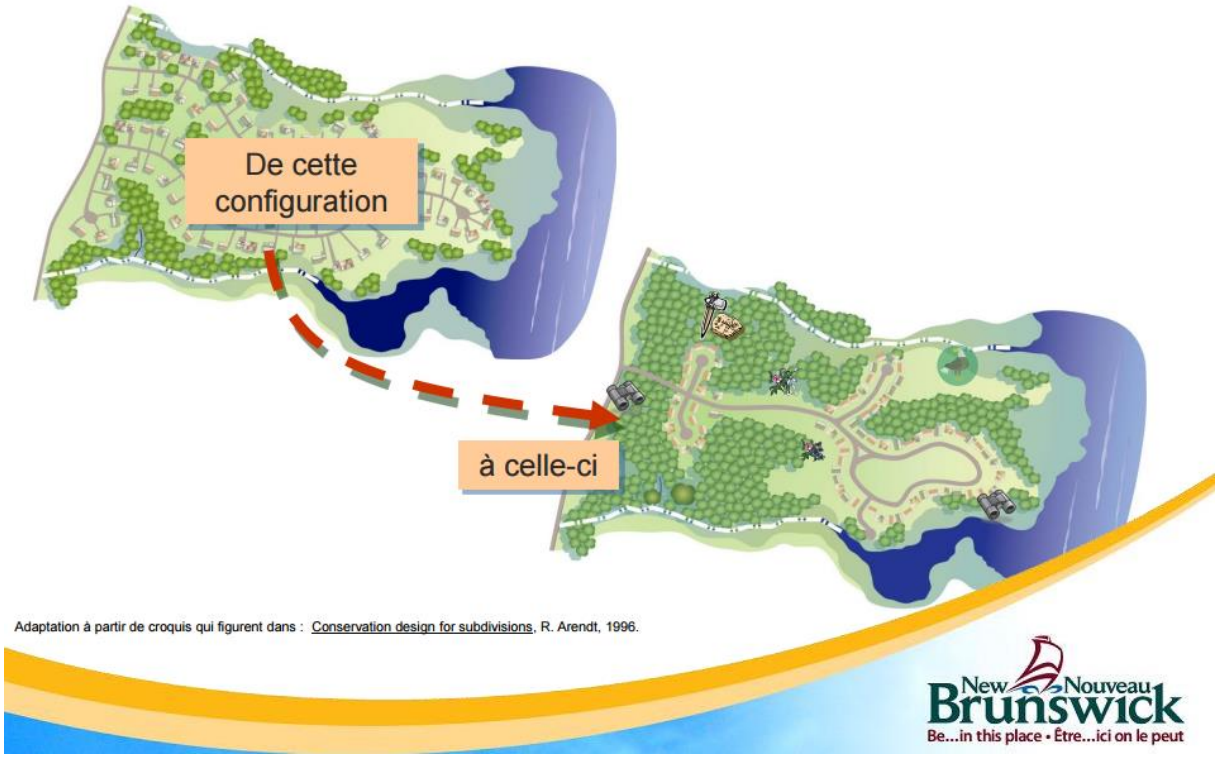

Figure 7. Présentation du passage entre la configuration classique des lotissements au nouveau design basé sur les travaux de Randall Arendt (Savard, 2010).

Plusieurs écovillages cherchant à préserver une grande partie de l'environnement voient ainsi le jour.

L'écodomaine des Forges (2017) par exemple, proche du centre-ville de Trois-Rivières au Québec, offre un lieu de vie où plus de la moitié du milieu naturel est préservé, rendu accessible par des sentiers pédestres ainsi qu'une piste cyclable et privilégiant les transports en commun.

Les zones boisées adjacentes sont protégées dans un but de préservation et de protection des habitats naturels, de la diversité biologique et des ressources naturelles, et les zones de construction sont divisées en terrains à vendre pour différents types d'habitations, qu'elles soient unifamiliales ou multigénérationnelles, des commerces de proximité et des espaces communs et de coopération consacrés aux différents loisirs et centres d'intérêts (Figure 8).

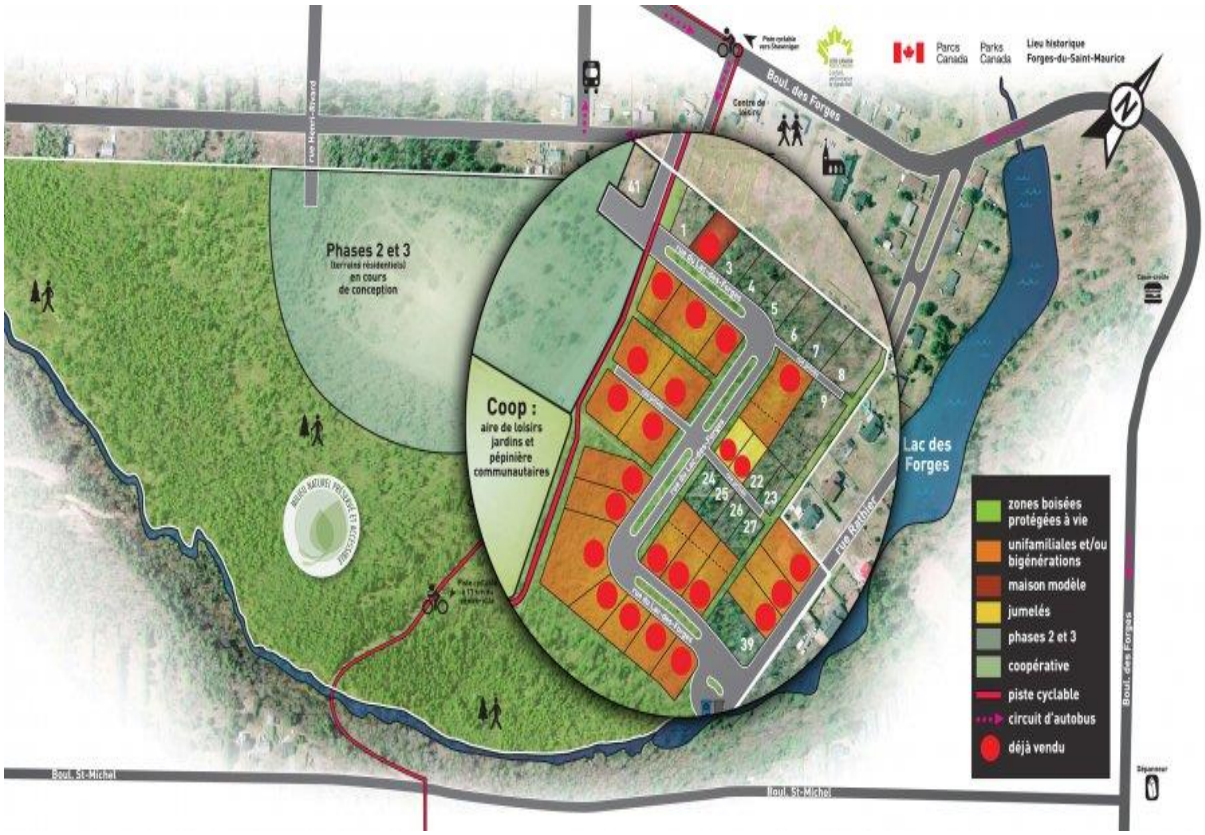

Figure 8. Projet de l'Ecodomaine des Forges, Québec, 2017.

Le projet du Quartier Chambéry de Blainville, au Nord-Ouest de Montréal au Québec, incarne également cette volonté de conserver la biodiversité et de protéger des zones naturelles en alliant l'urbanisation à la nature. Ce secteur de 250 hectares comprend une zone de protection des espaces écologiques et des milieux humides représentant 20% du secteur, ainsi qu'un corridor écologique de 50 hectares contenant une soixantaine d'espèces végétales et une dizaine d'espèces animales selon la ville (Ville de Blainville, 2017).

Une place publique sera créée afin de permettre une vie culturelle, commerçante, communautaire et urbaine, et un axe central de 2,3 kilomètres bordé d'arbres et de pistes cyclables permettra l'accès à l'ensemble du quartier. Les réseaux piétonniers et cyclables seront également prévus dans certains couloirs écologiques définis. Les services d'utilité publique seront installés en souterrain afin d'éviter la pollution visuelle et les transports en commun seront facilités.

La gestion des eaux fait partie intégrante du projet, avec l'implantation d'un bassin de rétention en ligne avec le cours d'eau Dominique-Juteau, incluant une plaine de débordement aménagée, et servant également de marais filtrant pour les eaux fluviales. Les ravins environnants seront préservés par le maintien de débits générés à la sortie de ce bassin identiques à ceux du territoire en friche.

Le projet met également l'accent sur la diminution des surfaces artificielles, avec l'intégration d'accotements de type alvéolé au moins au niveau du boulevard principal aux abords des zones protégées et des cours d'eau (Figure 9).

Figure 9. Simulation du Quartier Chambéry au Québec où l'on distingue l'accotement de type alvéolé (Le Groupe Platinum Construction 2001 inc., 2017).

Certains promoteurs immobiliers proposent également ce type de service, notamment des stationnements souterrains et des pavés alvéolés (Le Groupe Platinum Construction 2001 inc., 2017). Au fond du terrain, un espace de conservation d'arbres est protégé et les voies de circulation réduites au niveau des corridors de protection, garantissant à la faune le droit de passage et facilitant ses déplacements au sein du quartier (Figure 10). Les aménagements paysagers permettront de conserver la biodiversité locale par des plantes et arbustes indigènes ne nécessitant pas d'arrosage. Ce constructeur propose également des toits plats afin de permettre l'installation de jardins sur toit.

Figure 10. Simulation du Quartier Chambéry au Québec où l'on distingue l'accotement de type alvéolé (Le Groupe Platinum Construction 2001 inc., 2017).

Cependant, le problème du financement se pose, et rencontre des difficultés et des conséquences importantes dans cette région, en particulier en raison de nouvelles infrastructure d'égouts et d'aqueducs. Des propriétaires ont ainsi vu leurs taxes foncières augmenter de 900% et l'un d'entre eux, qui ne bénéficie pour l'instant pas des infrastructures qu'il participe à financer, a même entamé une procédure juridique contre la ville (Joncas, 2015). Il est crucial d'évaluer le coût du projet à l'avance et les acteurs impliqués dans son financement, afin qu'il n'y ait pas de détriment démesuré concernant la dimension sociale.

3) Création de continuités écologiques

La connectivité entre les zones naturelles péri-urbaines, telles que les forêts, bois et autres zones riches en biodiversité, et les habitats en milieu urbain apparaît jouer un rôle dans la richesse de la biodiversité urbaine (Snep et al., 2006).

En effet, comme cité précédemment, la fragmentation des habitats, omniprésente dans les villes, se révèle néfaste pour la survie des espèces qui ont besoin d'habitats assez larges pour se reproduire et se nourrir.

Ainsi, la planification urbaine et les choix à la fois municipaux et personnels des habitants peuvent contribuer à la création de continuités écologiques, dont des couloirs ou corridors écologiques qui permettent un déplacement de certaines espèces des zones péri-urbaines jusqu'au cœur de la ville.

a. Corridors écologiques

Selon l'article R371-19 du Code de l'Environnement français, « les corridors écologiques assurent des connexions entre des réservoirs de biodiversité, offrant aux espèces des conditions favorables à leur déplacement et à l'accomplissement de leur cycle de vie. Les corridors écologiques peuvent être linéaires, discontinus ou paysagers. »

Cet article précise également que « les réservoirs de biodiversité sont des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement en ayant notamment une taille suffisante, qui abritent des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent ou qui sont susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations d'espèces. »

Les auteurs d'une synthèse sur le sujet définissent un corridor comme un habitat linéaire qui relie deux ou plusieurs habitats de taille plus importante dans un but de conservation en permettant le maintien ou l'augmentation de la viabilité de populations sauvages spécifiques dans ces habitats plus larges (Beier et Noss, 1998). Ils ont examiné de nombreuses études afin de déterminer l'impact des corridors dans la viabilité des espèces considérées. Malgré de nombreux facteurs pouvant influencer voire fausser les résultats, et l'absence d'une réponse claire et généralisable, ils sont arrivés à la conclusion que les résultats d'études bien menées et donc significatives vont dans le sens de l'utilité des corridors dans la conservation de la biodiversité. Ils ont également relevé dans la plupart des études des bénéfices ou une utilisation des corridors par les animaux en milieu naturel.

À l'échelle du microécosystème, lors d'une étude sur des environnements intacts ou fragmentés de mousse et leurs populations de microarthropodes, les corridors ont montré une réduction significative du taux d'extinction des espèces. Les prédateurs apparaissent particulièrement touchés par la fragmentation des habitats, et bénéficieraient particulièrement de ces corridors afin de conserver la possibilité de déplacement.

Les résultats de cette étude montrent par ailleurs une grande différence entre l'efficacité des corridors continus et fragmentés, ces derniers présentant des valeurs similaires à celles des habitats entièrement isolés, et suggère ainsi de privilégier une continuité totale entre les différents habitats lors de la mise en place de corridors (Gilbert et al., 1998).

Le rôle des corridors dans le mouvement ou la migration des espèces ainsi que leur dispersion dans les parcelles d'habitats est relativement bien documenté, mais peu de recommandations existent quant à leur taille ou leurs spécificités (Gilbert-Norton et al., 2010). Cependant, des outils sont développés afin de modéliser différents corridors et d'effectuer des simulations en fonction de paramètres spécifiques pour permettre une amélioration de la connectivité fonctionnelle de l'environnement (Ribeiro et al., 2017).

b. Réseau écologique

Les corridors écologiques font partie en France du projet national de réseau écologique des trames verte et bleue définies dans l'article L371-1 du Code de l'Environnement :

« La trame verte et la trame bleue ont pour objectif d'enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural ainsi que la gestion de la lumière artificielle la nuit. »

Elles comprennent ainsi des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques (Code de l'Environnement, 2017 : Article R371-19) et contribuent notamment à « diminuer la fragmentation et la vulnérabilité des habitats naturels et habitats d'espèces et prendre en compte leur déplacement dans le contexte du changement climatique », « identifier, préserver et relier les espaces importants pour la préservation de la biodiversité par des corridors écologiques », « préserver les zones humides », « prendre en compte la biologie des espèces sauvages », « faciliter les échanges génétiques nécessaires à la survie des espèces de la faune et de la flore sauvages », et « améliorer la qualité et la diversité des paysages ». (Code de l'Environnement, 2017 : Article L371-1).

L'article R371-18 du Code de l'Environnement précise également que « l'identification et la délimitation des continuités écologiques de la trame verte et bleue doivent notamment permettre aux espèces animales et végétales dont la préservation ou la remise en bon état constitue un enjeu national ou régional de se déplacer pour assurer leur cycle de vie et favoriser leur capacité d'adaptation. »

La trame verte comprend certains espaces protégés, des espaces naturels importants pour la biodiversité et les « corridors écologiques constitués des espaces naturels ou semi-naturels ainsi que des formations végétales linéaires ou ponctuelles » permettant de les relier. (Code de l'Environnement, 2017 : Article L371-1)

La trame bleue, quant à elle, concerne des cours d'eau ou parties de cours d'eau ainsi que des canaux et certaines zones humides dont la préservation ou la remise en état sont définies comme importantes pour la préservation de la biodiversité. (Code de l'Environnement, 2017 : Article L371-1) Ces cours d'eau et zones humides peuvent être à la fois des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques.

De nombreuses initiatives peuvent être ainsi recensées, en France, notamment dans la ville de Montpellier qui a répondu à l'appel à projet de l'Etat concernant « l'élaboration de Trames vertes et bleues urbaines et la valorisation de friches » en janvier 2012, étant engagée dans une politique en faveur de la biodiversité et du développement durable depuis 1995 (Trame Verte et Bleue, 2014).

Grâce à une méthodologie d'identification des lieux importants par leur potentiel et leur biodiversité naturelle, fonctionnelle et d'usage, le périmètre de la Trame Verte et Bleue a été ainsi défini (Trame Verte et Bleue, 2014) :

- Réservoirs de biodiversité : Site d'Intérêt Communautaire (Natura 2000), Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique, Zones naturelles du Plan Local d'Urbanisme.

- Réservoirs de biodiversité potentiels : espaces verts, espaces boisés classés et friches de plus de 1 hectare, espaces agricoles du Plan Local d'Urbanisme lorsqu'ils sont en gestion écologique ou extensive.

- Corridors écologiques : espaces verts de moins de 1 ha qui constituent des corridors en « pas japonais », c'est-à-dire des parcelles discontinues ou stepping stones, et permettent de mailler la trame : alignements d'arbres, cours d'eau et zones d'expansion de crue, espaces agricoles…

L'étude des zones d'intérêt, ayant également prise en compte les données des études sur les friches et les délaissés des plusieurs quartiers, permet de hiérarchiser les espaces, mais surtout de prioriser les interventions en donnant la priorité aux espaces sur lesquels la pression anthropique est la plus forte.

La ville de Montpellier a ainsi défini des trames de nature différentes en fonction de leurs caractéristiques dans son Schéma des Réseau Verts :

- la Trame Verte qui comprend les Coulées Vertes dont le Lez, les Poumons Verts tels que le Zoo et les Zones Agricoles et Naturelles identifiées dans le Plan Local d'Urbanisation

- la Trame paysagère et patrimoniale comprenant les Espaces Boisés Classés, le patrimoine bâti tel que l'aqueduc et le PPRI : Plan de Prévention des Risques d'Inondation

- la Trame déplacement doux qui regroupe les voies de tramway, les pistes cyclables, le chemin de Saint Jacques de Compostelle et le sentie de Grande Randonnée.

L'idée d'un corridor écologique associé au déplacement doux se retrouve également dans la ville de Bègles en Gironde, avec la ligne C du tramway et son aménagement favorisant les déplacements à pied ou à vélo. (Bordeaux Métropole, 2017).

A Bruxelles, le concept de maillage vert combinant des objectifs socio-récréatifs, environnementaux et paysagers, comprend environ 161 kilomètres de continuités vertes reliant entre eux des espaces verts essentiellement publics mais également privés (Figure 11).

En plus de l'aménagement ou du réaménagement de nombreux espaces verts, ce programme s'est également concrétisé par la réalisation de la promenade verte, un parcours paysager circulaire de 62 kilomètres destiné à la mobilité douce et permettant de faire le tour complet de la région sans quitter un itinéraire sécurisé et balisé : la Promenade Verte.

En parallèle et manière indissociable, s'est développé le maillage bleu qui a pour objectif de rétablir autant que possible la continuité du réseau hydrographique de surface et à y faire écouler des eaux propres (Bruxelles Environnement, 2016a).

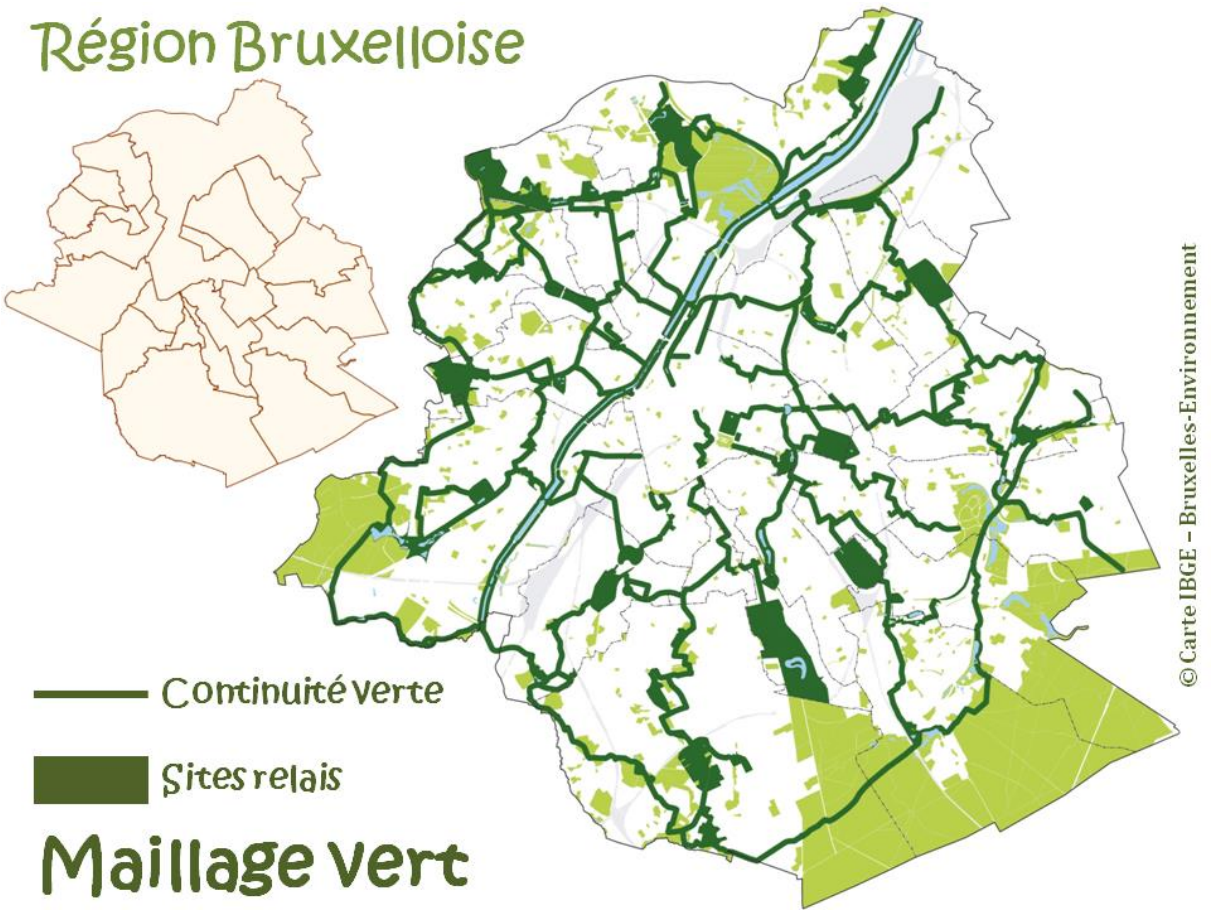

Figure 11. Maillage vert de la région de Bruxelles. Source : Bruxelles-Environnement.

c. Autres aménagements

Afin de permettre la continuité écologique, certains aménagements peuvent être mis en place dans des zones où les activités humaines sont un danger pour la biodiversité.

i. Passages fauniques

Les infrastructures routières menacent particulièrement la conservation de la biodiversité en fragmentant certains réservoirs et en empêchant la migration des espèces d'un fragment à l'autre. Des passages fauniques aussi appelés écoducs peuvent alors être construits, en surélévation ou bien en souterrain, afin de permettre aux espèces de circuler entre les différents fragments du réservoir.

Par exemple, le corridor forestier au-dessus du tunnel Caldecott dans la baie de San Francisco reliant les Parcs de Sibley et Tilden permet à au moins 9 espèces de mammifères sauvages de se déplacer d'un bord à l'autre de l'autoroute, comme l'ont mis en évidence Steven Bobzien et Courtney Wilson du District des Parcs Régionaux de l'East Bay grâce à des caméras installées fin 2016 pour observer les déplacements de la faune (Rosato Jr., 2017).

Il existe également des corridors souterrains, notamment ceux permettant le passage sous des routes ou chemin artificiels de micromammifères ou d'invertébrés tels que les vers de terre, communément appelés lombriducs.

ii. Haies

En milieu agricole, les haies représentent une forme d'habitat marginal notamment pour les petits mammifères, qu'elles soient connectées aux réservoirs tels que les forêts ou qu'elles soient isolées à une distance d'au moins 300 mètres (Schlinkert et al., 2016).

Il a également été suggéré qu'il est plus bénéfique pour la biodiversité de préserver les haies déjà existantes, ou bien si ce n'est pas possible de privilégier des haies boisées composées d'une diversité d'espèces végétales de préférence natives adaptées à l'environnement ainsi qu'à la conservation des espèces (Boutin et al., 2002 ; Lövei and Magura, 2017).

4) Espaces aquatiques

Les espaces aquatiques sont importants à la fois pour la préservation de la biodiversité et pour la santé, puisqu'ils permettent une rétention de l'eau dans les zones urbaines.

Or, ceci présente des conséquences positives sur la qualité de l'air en augmentant son taux d'humidité et en faisant diminuer la concentration de particules en suspension potentiellement nocives pour la santé par leur implication dans l'asthme et autres pathologies broncho-pulmonaires.

Associées à des stratégies adaptées de gestion des eaux de pluie, ces espaces contribuent également à diminuer l'effet d'îlot de chaleur urbain (Kupryś-Lipińska et al., 2014).

a. Ruisseaux, canaux, rivières et fleuves

Les cours d'eau sont une partie importante des zones aquatiques environnementales et sont souvent rencontrés en zone urbaine, comme à Bordeaux qui a été construite autour du fleuve de la Gironde. Ils hébergent une biodiversité importante, tant aquatique que semi-aquatique sur leurs berges, et participent à la régulation des crues et de l'eau de pluie.

Ainsi, des initiatives locales ont pour objectif de conserver ou réhabiliter les cours d'eau proches des zones urbaines et leurs berges afin de préserver la biodiversité, les services écosystémiques rendus ainsi que de les rendre attractifs pour la population et ses activités. Par exemple, la ville de Los Angeles a mis en place un projet de revitalisation de son fleuve depuis 1996 afin d'obtenir plusieurs bénéfices à l'échelle résidentielle ainsi qu'à celle des quartiers, de la ville, et de l'état (Los Angeles River Revitalization Master Plan, 2007).

Certains de ces bénéfices concernent la biodiversité et les services écosystémiques, tels que la restauration des fonctions écologiques des bords du fleuve, l'amélioration de la qualité de l'eau, ainsi que la gestion des crues et la restauration des écosystèmes et des habitats sauvages.

Le plan d'action de 2007 contient ainsi plusieurs recommandations selon les objectifs poursuivis. Par exemple, afin d'augmenter la qualité de l'eau, il est proposé d'améliorer les infrastructures vertes et de mettre l'accent sur les traitements environnementaux présentant de multiples bénéfices, de mettre en place des dispositifs de traitement de l'eau, notamment naturels et basés sur l'environnement, à diverses échelles afin d'en maximiser l'efficacité, particulièrement aux confluences du fleuve, et de créer des terrasses et bordures vertes pour traiter les eaux de pluie qui débordent de a rivières ou arrivent des rues.

Pour établir un accès sécurisé au public, il est notamment prévu de créer des espaces publics tels que des parcs, places et aires naturelles de différentes tailles, des piscines et lacs temporaires, d'utiliser des techniques alternatives de végétalisation lorsque le béton reste nécessaire sur certaines surfaces et de continuer à développer des systèmes de transports non motorisés par la création de pistes cyclables et piétonnes.

Enfin, dans un but de restauration de l'écosystème riverain, les recommandations incluent la création d'un corridor riverain fonctionnel continu afin de fournir un habitat aux oiseaux, mammifères, amphibiens reptiles, invertébrés et poissons concernés, qui sera connecté aux routes de migration et aux autres habitats significatifs jusqu'aux montagnes, la création de passages pour les espèces aquatiques et l'amélioration de la qualité de l'eau, ainsi que la restauration de l'habitat sauvage le long des berges supérieures du fleuve (Los Angeles River Revitalization Master Plan, 2007).

Certains changements notables ont déjà été effectués, notamment au niveau du Griffith Park (Figure 12).

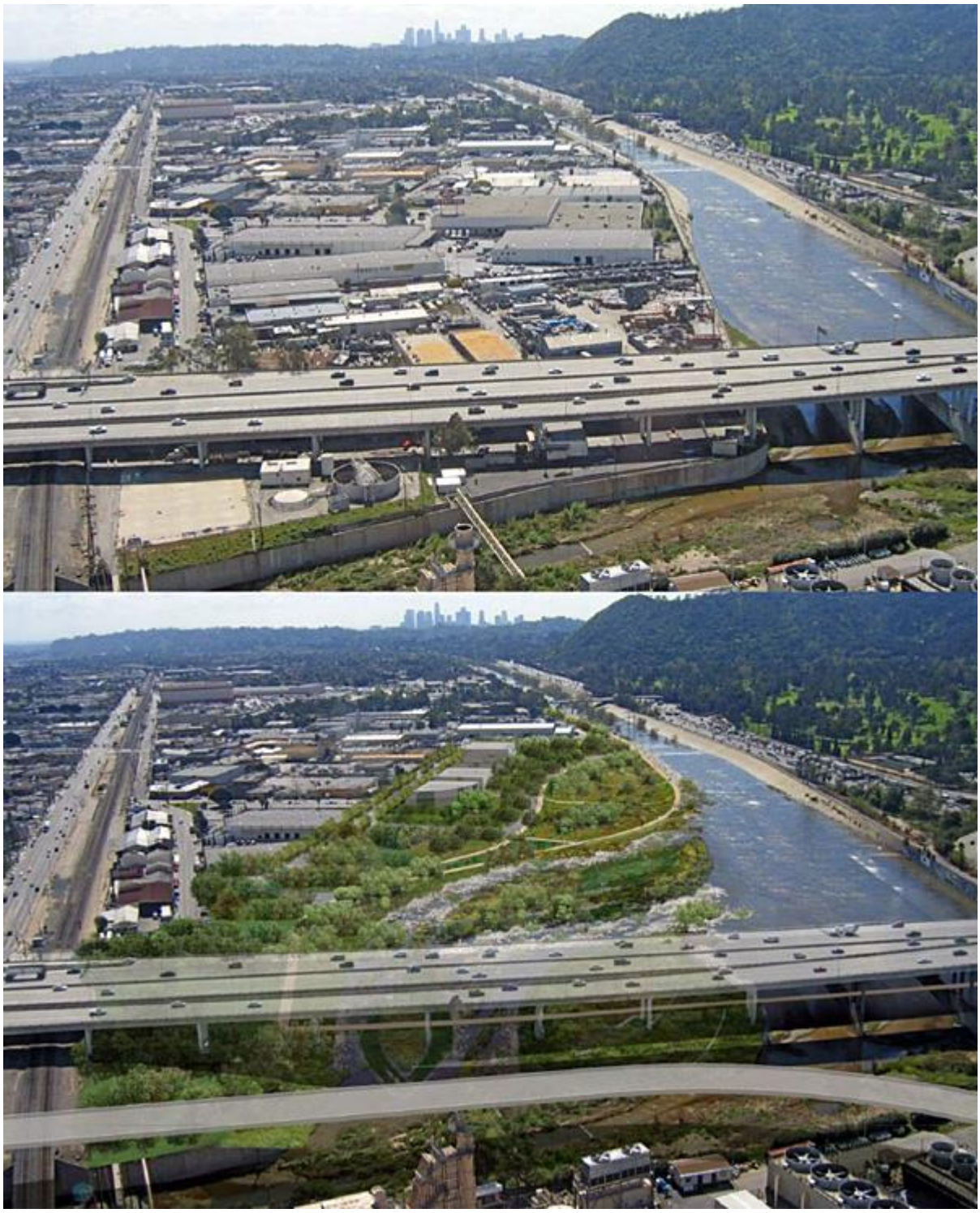

Figure 12. Photographies avant/après la revitalisation dans la zone Est du Griffith Park, Los Angeles. Images prises par l'Army Corps of Engineers Arbor Study.

Les cours d'eau sont par ailleurs largement intégrés dans la Trame Verte et Bleue montpelliéraine. Le Lez est en partie reconnu comme Site d'Intérêt Communautaire Natura 2000. Le service hydraulique en partenariat avec le Syndicat du bassin du Lez mène une étude sur les obstacles et les seuils tout au long de ce cours d'eau afin de favoriser la migration de l'anguille. Un tronçon à fort caractère naturel verra sa végétation renforcée, et un travail sur la limitation des espèces invasives animales et végétales sera effectué (Trame Verte et Bleue, 2014).

b. Etangs et mares

Les étangs et les mares peuvent être des réservoirs importants de biodiversité, notamment pour les amphibiens, particulièrement touchés par l'urbanisation et les activités humaines, puisqu'environ 27% des espèces d'amphibiens étudiées par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature, qui sont estimées à 86% des espèces totales, sont classées menacées en 2016. Certaines espèces d'amphibiens s'adaptent relativement bien à l'urbanisation, tandis que d'autres sont beaucoup plus touchées par la destruction et la fragmentation des habitats.

Ainsi, différentes recommandations peuvent être suggérées : pour les espèces communes qui s'adaptent assez bien, l'augmentation de la taille des étangs et mares ainsi que de leur nombre semble bénéfique, tandis que pour les espèces plus rarement trouvées en milieu urbain, il apparaît important de conserver des zones naturelles intactes telles que les forêts natives, ainsi que d'éviter la construction de routes dans un rayon de 100 mètres des étangs et mares. La question de la végétalisation de ces espaces aquatiques doit aussi être considérée selon les espèces d'intérêt dont la conservation est souhaitée, car elle peut influencer leur développement (Villaseñor et al., 2017).

Le zooplancton est également affecté par l'urbanisation, particulièrement les espèces de plus grande taille qui interviennent dans la régulation du développement des algues. Là aussi, la gestion des espaces autour des étangs et mares urbaines joue un rôle important dans le maintien de la diversité des espèces, avec l'influence favorable de la présence d'espaces verts tout autour des mares, qui aident notamment à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbaine qui impose un stress au zooplancton (Gianuca et al., 2017).

De telles recommandations se retrouvent également afin de favoriser la richesse des espèces d'insectes aquatiques, en privilégiant par ailleurs une profondeur suffisante des étangs urbains et en étudiant les bénéfices d'une couverture végétale conséquente et diversifiée afin de fournir un habitat hétérogène ainsi que des ressources alimentaires pour différents groupes d'espèces (Heino et al., 2017).

Selon les mêmes auteurs, il est également important de conserver les espaces aquatiques qui ne présentent pas une forte richesse en espèces, mais qui pourraient abriter des espèces rares tout aussi importantes pour la conservation de la biodiversité.

Ainsi, la préservation ou la création en ville des étangs et mares, en leur apportant si possible une ceinture végétale afin de favoriser la survie des espèces et le développement d'une biodiversité plus riche, fait partie intégrante des initiatives à mettre en place pour préserver les écosystèmes en milieu urbain et les services qu'ils fournissent. Dans la région de Bordeaux, la zone commerciale et résidentielle des Rives d'Arcins à Villenave d'Ornon contient de telles oasis de biodiversité, dont certaines sont pour l'instant préservées (Figure 13).

Figure 13. Etangs à Villenave d'Ornon dans la zone de Rives d'Arcins, 2017.

c. Canaux d'irrigation

Les canaux d'irrigation utilisés dans l'agriculture sont intéressants en termes de préservation de la biodiversité.

En effet, plusieurs études rapportent des services écosystémiques secondaires rendus par ces infrastructures pour la biodiversité, notamment dans le sud-est de la France (Aspe et al., 2014). Diverses espèces de poissons de différents âges ont effectivement été recensées dans ces canaux, y compris deux espèces protégées : le blageon (*Leuciscus souffia*) et l'apron (*Zingel asper*), ainsi qu'une chaîne alimentaire typique de la région étudiée. Un lien a également été établi avec la circulation des poissons dans les rivières adjacentes, les canaux favorisant la biodiversité des poissons dans ces rivières grâce au retour des poissons en milieu naturel notamment par les eaux de drainage ainsi que grâce à leur rôle en tant que refuge pour la reproduction, même dans des canaux de faibles dimensions (Aspe et al., 2014).

Ces canaux peuvent même être impliqués dans l'évolution génétique des espèces, comme le montre l'exemple du canal de Carpentras dans lequel a été retrouvé 17.39 % de spécimens hybrides, 20.29 % d'espèces invasives (*Chondrostoma nasus*) et 62.32 % d'espèces endémiques (*Parachondrostoma toxostoma*), et représenter des réservoirs de maintien de la biodiversité génétique (Aspe et al., 2014).

Ces canaux originellement destinés à l'agriculture peuvent également servir à irriguer les zones urbaines ou semi-urbaines.

d. Réservoirs et lacs

La présence de lacs, soit naturels préservés, soit artificiels en milieu urbain, permet également la préservation ou l'introduction de faune et de flore aquatiques et semi-aquatiques.

On peut par exemple citer les lacs et les réservoirs présents dans les parcs urbains de Prospect Park et de Central Park à New York City (Figures 14, 15 et 16).

Figure 14. Photographie du lac au sein de Prospect Park, qui est resté très naturel, avec des forêts, des champs, et des cours d'eau le traversant, à côté de la partie plus construite qui accueille différentes animations. Brooklyn, New York City, 2015.

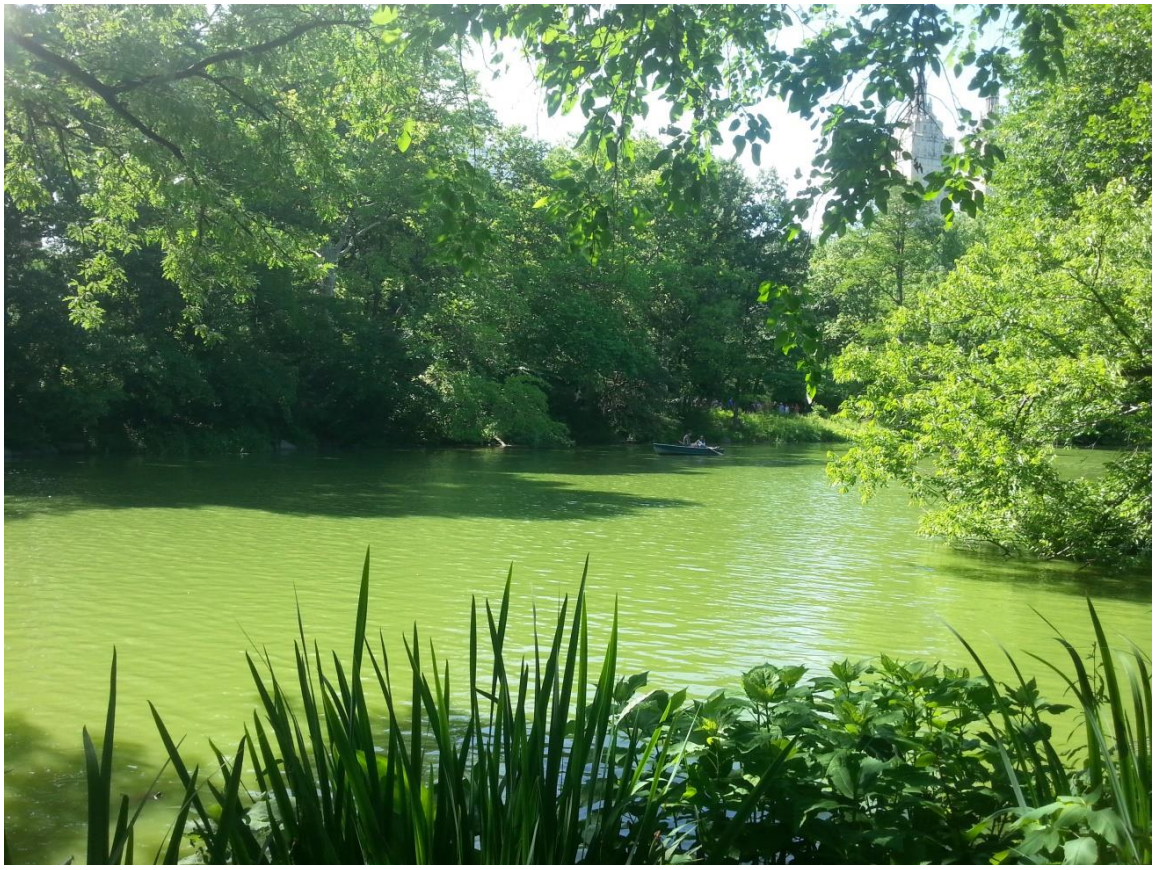

Figure 15. The Lake, Central Park, Manhattan, New York City, 2015.

Figure 16. Le Réservoir, entouré d'une piste où de nombreux citadins viennent courir. Central Park, Manhattan, New York City, 2015.

e. Gestion des eaux pluviales

Une bonne gestion de l'eau de pluie est importante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, étant donné le pourcentage élevé de sol artificialisé en milieu urbain, le risque d'inondations est plus important en cas de fortes intempéries. Par ailleurs, il existe un risque de fuite d'eau riche en nutriments vers les espaces aquatiques adjacents, pouvant causer le développement d'algues et la destruction des poissons.

Ainsi, des techniques alternatives existent en complément des structures d'assainissement existantes, dont de nombreuses sont répertoriées dans une des fiches techniques de l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement dédiée à la gestion des eaux pluviales sur une parcelle de terrain constructible (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010). Cette gestion est basée sur une prise en charge locale de l'eau de pluie, séparément et en amont des réseaux publics d'assainissement, par un enchaînement de dispositifs qui assument différentes fonctions telles que la collecte, le ralentissement, la rétention, l'évapotranspiration, l'infiltration ou encore la dépollution.

La minimisation des surfaces imperméables est une des priorités, et pourra être atteinte grâce à un sol naturel planté ou des aires durcies perméables, telles que des dalles alvéolées ou engazonnées, des graviers, du calcaire ou encore des copeaux de bois. Les dispositifs d'infiltration tels que les bassins, puits, massifs ou citernes d'eau de pluie permettront de soustraire définitivement les eaux pluviales du ruissellement. Enfin, les dispositifs tels que les toitures vertes, les caniveaux, les canaux et les massifs drainants aideront à retenir l'eau et l'évacuer lentement, de manière régulée.

En plus de soustraire une partie des eaux de pluie au système d'assainissement classique, une grande partie de ces dispositifs alternatifs, notamment ceux à ciel ouvert, contribuent à la préservation de la biodiversité ainsi qu'à la qualité de l'air, la présence de végétaux et de sol naturel permettant de retenir l'eau et de maintenir un taux d'humidité dans l'air par des phénomènes tels que l'évapotranspiration. La présence d'eau pourrait tout de même entraîner des risques de développement de populations d'insectes indésirables, mais une gestion appropriée de ces dispositifs permet de réduire ce risque.

Enfin, cette gestion permet une dépollution par la décantation dans les dispositifs de rétention, une filtration notamment à travers les sols et les matériaux drainants, ainsi qu'une phyto-remédiation qui évite l'accumulation de polluants tels que les métaux lourds grâce à certaines plantes ou la filtration au travers d'une couche d'humus. Si un procédé de dépollution spécialisé doit être mis en place, il sera important d'en tenir compte.

Pour faciliter l'évaluation et la réalisation de tels dispositifs dans différentes conditions, l'Agence de la Protection Environnementale des Etats Unis a mis en place un modèle informatique de gestion des eaux pluviales, qui permet de choisir en fonction des paramètres hydrologiques quelles infrastructures sont les plus adaptées, notamment les pavés perméables, les toits végétalisés, les plantations de rue, les fossés d'infiltration ou encore les jardins (United States Environmental Protection Agency, 2017).

f. Zones humides

Les zones humides sont particulièrement importantes pour la biodiversité. En effet, elles sont porteuses d'une flore et d'une faune particulières, et rendent de nombreux services écosystémiques tels que la fonction d'absorption de l'eau pluviale, diminuant ainsi le risque d'inondations (European Environment Agency, 2016).

Des initiatives voient le jour un peu partout afin de valoriser ces espaces. Par exemple, la ville de Bègles en Gironde a suivi une politique de conservation statuant que lors de constructions sur une zone humide déjà existante, une restitution de zone humide une fois et demie plus importante qu'à l'origine était nécessaire. C'est ainsi qu'a été recréée une zone humide qui prolonge le corridor de Mussonville avec une faune et une flore plus développées qu'à l'origine (Domofrance, 2012).

Les actions envisagées afin de contribuer à cette compensation en faveur de la biodiversité et des fonctionnalités de la zone humide comprenaient la coupe sélective des espèces invasives, la restauration et/ou la plantation d'espèces locales, la gestion différenciée des espaces favorisant la biodiversité (fauche ou pâturage), l'ouverture des milieux prairiaux humides, notamment en défrichant, la renaturation d'espaces imperméabilisés (goudron ou bâches) ainsi que le nettoyage des détritus et dépôts d'ordures afin d'éviter la pollution des eaux et de favoriser les écoulements.

5) Espaces publics ouverts

a. Parcs urbains et jardins publiques

De nombreuses villes s'efforcent de maintenir des espaces plus ou moins naturels au sein des constructions urbaines, notamment par la sauvegarde ou la création de parcs urbains.

À Bordeaux, le Jardin Public et le Grand Parc font partie de ces espaces naturels qui contribuent au maintien de la biodiversité en ville, y compris par un jardin botanique réalisé au sein du Jardin Public.

De grandes villes américaines arborent également de grands parcs, avec l'exemple phare de New York City qui comprend plusieurs parcs au sein de Manhattan, notamment le plus connu et imposant Central Park (Figure 17) qui s'étend sur environ 50 rues et 4 avenues, soit 341 hectares, mais également Bryant Park, Union Square et Washington Square Park plus au sud, ainsi que Prospect Park dans le quartier de Brooklyn. Ce dernier, ainsi que le quartier du Bronx, a également un jardin botanique (Figure 18). Central Park et Prospect Park sont tous deux parsemés de lacs, d'étangs et/ou de rivières et ruisseaux, participant ainsi au maintien de la flore et la faune aquatiques.

Les différents parcs de l'agglomération New Yorkaise permettent ainsi à cette région très urbanisée de conserver une partie de sa faune et de sa flore native et non native. Le scarabée charognard apparaît par exemple peu affecté par l'urbanisation et la fragmentation des terres dans cette région, voire pas du tout, alors qu'il l'est dans d'autres agglomérations. Ceci laisse supposer que les parcs forestiers urbains de New York City ont le potentiel de préserver les communautés de cet espèce ainsi que les services écosystémiques qu'elle fournit (Fusco et al., 2017).

Figure 17. Central Park vu du Rockefeller Center, Manhattan, New York City, 2015.

Figure 18. Jardin Botanique de Brooklyn, New York City, 2017. Photographie prise par Daisuke Chihara

b. Places et zones de loisirs

De nombreux autres espaces publiques sont susceptibles d'accueillir la biodiversité. Que ce soient sur les places, les ronds-points ou dans les espaces de loisirs tels que les aires de jeux et les zones sportives à l'air libre, il est toujours possible d'y incorporer différentes formes de végétation (Figure 19).

Figure 19. Plaine des sports à Bordeaux, sur les bords de Garonne, 2017.

c. Parkings

La plantation d'arbres sur les parkings permet de réduire les émissions passives des véhicules d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures par évaporation, induites par la température souvent élevée de ces zones de stationnement.

En Californie, de nombreuses villes ont mis en place une régulation exigeant au moins 50% de couverture végétale sur les parkings, cette région étant particulièrement exposée aux effets d'îlot de chaleur urbain, mais celle-ci n'est pas toujours correctement suivie. Il est ainsi important de prendre en compte le type d'arbres à planter en privilégiant des arbres assez haut ayant une canopée large, résistants à la chaleur, à la pollution et aux parasites, la qualité du sol, l'éloignement entre les arbres, ainsi que le suivi et l'entretien des plantations.

Ainsi, une généralisation de cette pratique présente un fort potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'amélioration de la qualité de l'air en zone urbaine (McPherson et al., 2000).

d. Rues

L'importance de la présence de végétation dans les rues des villes a été mise en évidence précédemment, notamment grâce à son rôle dans la qualité de l'air. En effet, elle permet de réduire les concentrations d'oxydes d'azote ainsi que de particules en suspension jusqu'à respectivement 40% et 60% dans les rues construites des deux côtés (Pugh et al., 2012).

Ainsi, plusieurs actions peuvent être entreprises afin de verdir les zones urbaines hors des parcs et autre espaces ouverts :

- la plantation d’arbres

Les rues du quartier de Greenwich village dans Manhattan à New York City sont par exemple particulièrement végétalisées (Figure 20).

Figure 20. Greenwich Village, Manhattan, New York City, 2015.

- La plantation de parterres végétalisés

De nombreuses villes prennent l’initiative ou encouragent les habitants à planter des parterres végétalisés et/ou fleuris dans les rues, autour des arbres ou sur les trottoirs.

Ainsi, la ville de Paris a lancé un permis de végétaliser, qu’elle accorde aux riverains qui en font la demande dans les zones prévues à cet effet.

Des petits panneaux sont alors apposés afin d’inciter au respect de ces espaces verts par les passant et d’informer de ce projet et de son intérêt. On retrouve également sur certains des petites pancartes indiquant le nom de l’espèce cultivée (Figure 21).

Figure 21. Plantations au bord du trottoir ou autour des arbres grâce au permis de végétaliser accordé par la ville, Paris, 2017.

La ville de Bordeaux propose également, sous certaines conditions, le soutien à la création de fosses de plantation sur les trottoirs, après engagement à respecter la charte de végétalisation des rues établie par la ville. Cette dernière, si le projet est réalisable, effectue les travaux d'ouvrage de la fosse et propose même de fournir la terre végétale ainsi que les premiers semis ou plants parmi une liste consultable en mairie et sur internet (Ville de Bordeaux, 2017).

6) Espaces inutilisés

a. Friches industrielles

Les friches industrielles peuvent être transformées afin de recréer des espaces de biodiversité, ou bien laissées telles quelles pour que la biodiversité s'y développe de manière non contrôlée.

La végétation qui s'y développera dépend alors de l'occupation et l'utilisation ancienne du site, du stock de graines contenu dans le sol, de la nature de celui-ci et de l'environnement immédiat du site à partir duquel des essaimages ont inévitablement lieu.

Selon l'Administration de l'Environnement et de l'Energie de la région de Bruxelles-capitale, les friches commencent par apparaître sous forme de prairie dominée par des espèces telles que les trèfles et les graminées, puis en suivant

l'évolution naturelle du milieu, apparaissent d'autres espèces plus envahissantes comme les ronces, les orties ou les framboisiers. Puis commencent à se développer des prunelliers, des sureaux, des aubépines à un style, voire même des pommiers qui vont former ici et là des buissons à partir desquels, la végétation évoluera tout doucement vers un type forestier (Bruxelles Environnement, 2016b).

Un moyen de favoriser la végétalisation des zones abandonnées non accessibles est de confectionner des « bombes de graines » à base d'argile, de terre ou de terreau et d'un mélange de graines de plantes ou de fleurs, puis de les lancer dans les terrains concernés.

Toutes ces espèces végétales et florales représentent un habitat pour différentes espèces animales qui y trouveront de la nourriture et un refuge.

b. Anciennes décharges publiques

Il est possible de restaurer les anciennes décharges publiques afin de leur rendre un état naturel pouvant servir de réservoir de biodiversité. C'est ce qu'a réussi la ville de Bègles en Gironde en réhabilitant son ancienne décharge située à Mussonville par diverses actions : sa dépollution suivie d'une perméabilisation grâce à des couvertures puis le dépôt de terre à leur surface (Guinaudeau, 2014). Ceci a permis à la faune et la flore de se développer de nouveau dans ce site.

c. Anciens chemins de fer

La nature finit toujours par reprendre ses droits sur les constructions humaines laissées à l'abandon. C'est ainsi que les anciens chemins de fer désormais inutilisés redeviennent naturellement végétalisés partout où l'herbe et les plantes peuvent repousser. Certaines villes ont même décidé de réhabiliter certains d'entre eux.

C'est notamment le cas de la Petite Ceinture (Figure 22) dans la ville de Paris dont les portions fermées à la circulation ferroviaire se sont progressivement transformées en continuité écologique faisant partie intégrante de la Trame verte et bleue parisienne (Mairie de Paris, 2017a). En effet, cette ceinture verte est proche des bois, des grands parcs, de la Seine, des canaux et des faisceaux ferrés, et favorise ainsi la propagation des espèces faunistiques et floristiques au sein du réseau écologique.

Certaines parties de cette ceinture verte ont même été ouvertes au public avec l'établissement de sentiers nature, de jardins partagés (Figure 23), d'activités commerciales ou encore d'ateliers artistiques (Mairie de Paris, 2017a). Plusieurs concertations citoyennes ont mis l'accent sur des projets naturels et de conservation écologique plutôt que de nouvelles constructions sur l'ancienne voie ferrée. Une gestion écologique est assurée par des associations responsables de chantiers d'insertion. D'ici 2020, 6,5 kilomètres supplémentaires de ce corridor écologique seront ouverts au public, portant à 10 kilomètres le total des espaces accessibles (Mairie de Paris, 2017b).

Figure 22. La Petite Ceinture, Paris, 2017.

Figure 23. Jardin partagé adjacent à la Petite Ceinture, Paris, 2017.

Certaines voies ferrées ont même été transformées en parc urbain, comme c'est le cas de la désormais célèbre High Line à New York City (Figure 24), ouverte au public en 2009 après 10 ans de négociations, planification et réhabilitation grâce à l'association Friends of the High Line (Friends of the High Line, 2017).

Cette ancienne voie ferrée surélevée traverse les rues de l'ouest de Manhattan et particulièrement le quartier de Chelsea, en partant de la rue Gansevoort Street dans le Meatpacking District pour aller jusqu'à la 34^{e} rue entre la 10^{e} et la 12^{e} avenue, proche du centre des affaires et de Penn Station. De nombreux locaux et touristes viennent s'y promener et peuvent étudier les différentes espèces végétales, et avec un peu de chance animales qui l'habitent ainsi que l'architecture à couper le souffle qui l'entoure, tout en admirant par moments la vue qu'offre la balade sur l'Hudson River.

Figure 24. The High Line, Manhattan, New York City, 2015.

7) Espaces privés

Les habitants des villes eux-mêmes ont un rôle important à jouer dans la végétalisation des zones urbaines. En effet, de nombreuses maisons et résidences disposent de cours, jardins, ou balcons qui peuvent être mis à profit afin de préserver et de développer la biodiversité.

Ainsi, les habitants sont encouragés à planter des espèces locales dans la mesure du possible, qui pourront fournir des habitats à toutes sortes d'espèces animales (Figure 25) : les arbres et arbustes pourront abriter la faune aviaire, les haies végétalisées comme mentionné précédemment permettront d'établir un refuge et un passage notamment pour les rongeurs et petits mammifères, des espèces florales soutiendront le développement des pollinisateurs, les espaces aquatiques, même minimes, pourront accueillir une biodiversité aquatique ainsi qu'une variété d'insectes, et un sol non artificialisé sera également bénéfique pour la biodiversité souterraine et les populations d'arthropodes et d'invertébrés qui font de l'herbe leur habitat.

Figure 25. Un chevreuil rencontré dans le jardin d'un particulier à Killiney Beach dans une zone résidentielle semi-urbaine proche de la ville de Vernon, Birtish Columbia au Canada ayant conservé une partie conséquente de sa végétation, 2017.

Les balcons et rebords de fenêtres pourront être le support de plantes et de fleurs qui peuvent participer au maintien des pollinisateurs et autres espèces d'insectes.

8) Agriculture urbaine et péri-urbaine

L'agriculture urbaine et péri-urbaine est en plein essor : elle permet en effet de développer la biodiversité locale, de rétablir un lien avec les pratiques culturelles ancestrales d'agriculture et de fournir une nourriture plus riche en nutriments, plus fraîche et ayant un impact de pollution moindre que lorsqu'il est nécessaire de l'acheminer depuis des régions ou pays éloignés.

Des jardins de particuliers aux fermes urbaines en passant par les jardins partagés et les initiatives de plantations en pleine rue, les solutions pour incorporer l'agriculture à la ville se multiplient.

Tout d'abord, les habitants des régions urbaines peuvent tirer parti de cours, jardins, balcons ou encore toits afin de planter des légumes, herbes aromatiques, fleurs comestibles ou encore d'installer des ruches d'apiculture.

Des jardins partagés ou communautaires existent également dans de nombreuses villes dont New York City (Figure 26), permettant aux habitants ne possédant pas de jardins d'accéder à un coin de terre. Ceci est particulièrement bénéfique dans les quartiers pauvres des villes dans lesquels la population a des difficultés à suivre les prix des supermarchés. La ville de Bègles a par exemple mis en place un réseau de mini jardins partagés dans les espaces délaissés des voiries et du milieu urbain, pour lequel elle a été récompensée en 2014 (Mairie de Bègles, 2014).

Figure 26. Jardin partagé dans le Lower East Side, Manhattan, New York City, 2013.

Les fermes urbaines, quant à elles, se développent de plus en plus. La ville de Détroit aux Etats-Unis, en faillite économique il y a quelques années, ayant subi une désertification industrielle et une chute démographique (Le Monde, 2013), tente de réhabiliter sa situation grâce à l'agriculture urbaine et péri-urbaine (Lewan, 2014).

Ainsi, son objectif est de nourrir les habitants de Détroit avec de la nourriture majoritairement produite par ces derniers dans les limites de la ville, comme en atteste l'association Keep Growing Detroit qui encourage la souveraineté alimentaire de la ville (Keep Growing Detroit, 2011).

À New York, de nombreuses fermes urbaines se rencontrent également sur les toits ou au détour des rues bien alignées de la ville. La ferme Eagle Street Rooftop Farm (Figure 27), située sur des toits à Brooklyn et utilisant l'agriculture biologique pour produire différentes variétés de légumes, organise son propre marché de produits biologiques et fournit divers restaurants locaux. Elle accueille également les visiteurs et leur permet de participer bénévolement aux activités de la ferme en apprenant ainsi les principes de l'agriculture biologique (Eagle Street Rooftop Farm, 2017).

Figure 27. Eagel Street Rooftop Farm, 2017. Brooklyn, New York City.

De nombreux autres projets proposent des services similaires, tels que la ferme urbaine de Battery Park co-crée par des étudiants, le Bell Book and Candle Rooftop Garden, une tour aéroponique sur le toit du restaurant utilisée pour cultiver des aliments de saison proposés dans les menus ensuite dans leurs menus, le Hell's Kitchen Farm Project sur les toits de Manhattan ou encore Programme GreenThumb qui a soutenu la création de plus de 600 sites, jardins ou fermes, gérés par des bénévoles et répartis dans les cinq quartiers de la métropole (EcoWatch, 2013).

Ainsi, de nombreuses tactiques permettent de cultiver en ville. Pour pallier au manque de place, certaines innovations ont vu le jour, comme les tours de jardinage en étage avec des bacs de culture en pleine terre permettant d'accueillir tous types de végétaux et un système de régulation comprenant la récupération des eaux de pluie et un arrosage automatisé, une autonomie énergétique par production d'électricité photovoltaïque et un rendement amélioré (Courtirey, 2017).

Les tours aéroponiques de la marque Tower Garden (Figure 28) diffèrent par leur mode de culture sans terre ni pesticide, et présentent par ailleurs l'avantage d'une pousse accélérée avec une économie d'eau estimée par le constructeur à 90% (Tower Garden, 2017).

Figure 28. Tower Garden, 2017.

Enfin, des initiatives citoyennes ont vu le jour il y a quelques années afin de mettre en place des zones de culture dans les rues, où chacun peut participer au jardinage et à la récolte des produits mûrs.

La plus connue est née en 2008 en Angleterre à Todmorden sous le nom de Incredible Edible, Incroyables Comestibles en français. Depuis, de nombreux collectifs se sont créés dans différentes villes pour recréer ce projet un peu partout, y compris en France où le réseau d'Incroyables Comestibles est de plus en plus actif.

À Bordeaux, le projet existe depuis 2012 et vient aujourd'hui s'installer à Meriadeck (Figure 29) sous forme de potager urbain accessible à tous, après le succès des premières buttes édifiées au Jardin d'Ars en 2013 (Berge, 2013 ; Elsa Provenzano, 2017).

Figure 29. Potager urbain des Incroyables Comestibles sur les terrasses de Meriadeck, Bordeaux, 2017.

9) Infrastructures vertes

Les zones urbaines sont souvent très minéralisées et construites de manière dense, ce qui peut rendre difficile la création d'espaces verts tels que les parcs, les jardins et les corridors écologiques. De nouvelles solutions sont ainsi apparues afin de végétaliser ces zones urbaines les plus denses : les infrastructures vertes. Les dernières années ont ainsi vu l'apparition de murs et toits végétalisés, réintroduisant des espèces de faune et de flore en ville, et pouvant être considérés comme des écosystèmes à part entière (Francis, 2011).

a. Murs végétalisés

Les murs végétalisés peuvent être décrits grâce à leurs caractéristiques physiques et environnementales, particulièrement les substrats physiques, le taux d'humidité, les nutriments et le microclimat, qui dépendent de la région géographique ainsi que de leur place au sein de l'écosystème urbain (Francis, 2011).

Plusieurs types de murs végétaux existent, et présentent chacun un intérêt particulier. Les murs anciens en ruine, le plus souvent en pierre, sont par exemple utiles pour conserver une biodiversité locale s'étant développée au fil du temps parallèlement à la dégradation de ces derniers (Francis, 2011) ; les façades vertes ou végétalisées sont réalisées grâce à des espèces ligneuses ou grimpantes plantées principalement à la base du mur afin de le recouvrir en poussant ; enfin, les systèmes de « murs vivants » agrémentent les murs de structures permettant aux

plantes de se développer à leur surface sans dépendre du sol. (Francis, 2011 ; Köhler, 2008).

Les façades vertes ont été développées et encouragées beaucoup plus tôt, puisqu'on retrouve notamment des articles les concernant en 1850, et sont les plus répandues, mais un mur vivant permet de créer un écosystème plus diversifié, d'où l'intérêt récent pour cette structure et son développement. Plusieurs études allemandes rapportent des effets bénéfiques des façades vertes sur la captation des micro et macroparticules de pollution présentes dans l'air, en particulier dans les deux premiers mètres des façades, ainsi que sur leur effet d'isolation thermique, notamment celui du lierre (Köhler, 2008).

En France, Patrick Blanc, botaniste chercheur au CNRS, riche de sa connaissance botanique des plantes et de leurs exigences, est devenu un précurseur du mur végétal, recréant des milieux vivants très comparables aux milieux naturels grâce à un agencement harmonieux des séquences végétales. Ses premières réalisations se retrouvent dans le monde entier et particulièrement à Paris, comme l'Oasis d'Aboukir dans le second arrondissement (Figure 30).

Figure 30. Mur végétal Oasis d'Aboukir de Patrick Blanc, Paris 2^{e}, 2017.

Ce mur végétal a été créé grâce à la superposition de trois éléments : un cadre métallique, du PVC expansé et une nappe d'irrigation en feutre imputrescible, assurant ainsi la fixation des racines des végétaux sur une surface plutôt qu'un volume, s'affranchissant ainsi du poids du substrat tout en leur permettant de croître. Haut de 25 mètres, d'une superficie de 250 mètres carrés, il a été planté de 7600 sujets de 237 espèces différentes.

Patrick Blanc a également effectué quelques créations à Bordeaux, dont le Square Vinet réalisé en 2005 (Figure 31).

Figure 31. Square Vinet, Bordeaux, 2017.

D'autres architectes se sont également lancés dans l'intégration du végétal en milieu urbain, avec des innovations spectaculaires, notamment celle de Stefano Boeri, un architecte italien ayant créé les premières forêts verticales à Milan au cours d'un projet s'étalant de 2009 à 2014 (Boeri, 2017).

S'inscrivant dans une volonté de reforestation et de régénération de la biodiversité urbaine sans étalement des constructions, ce modèle de densification verticale de la nature au sein de la ville comprend deux tours résidentielles de 110 et 76 mètres de hauteur dans le centre de Milan, abritant 900 arbres de 3, 6 ou 9 mètres de hauteur et plus de 20000 plantes de différentes espèces florales et ligneuses (Figure 32).

Les avantages de ce type de construction sont nombreux, allant d'habitat pour la vie animale à la contribution à une meilleure qualité de l'air grâce à l'humidification, l'absorption du CO2 et des microparticules et l'émission d'oxygène, en passant par un effet de protection contre la chaleur solaire et la pollution acoustique (Boeri, 2017).

Figure 32. Bosco Verticale, Milan (Boeri, 2017).

b. Toits végétalisés

Les toits végétalisés ont également le potentiel d'héberger la biodiversité, et de compenser le manque d'espaces verts tels que les parcs et jardins. Par exemple, à Londres, après la rénovation de nombreuses ruines post seconde guerre mondiale dans lesquelles la nature avait repris ses droits, les scientifiques ont commencé à s'intéresser à cette possibilité. En effet, les toits couvriraient environ 24000 hectares, soit 16% du Grand Londres (Grant, 2006).

Il est possible d'utiliser différents types de substrat afin de promouvoir une diversité biologique importante, tels que du mélange de craie et de terre, de la glaise ou encore des graviers (Grant, 2006).

c. Synergie entre les différentes infrastructures végétalisées

La présence conjointe de murs et de toits végétalisés de manière étendue dans les villes pourrait ainsi jouer le rôle de continuité écologique en association avec les différents espaces verts urbains et la végétation des rues. En effet, plus les espaces de végétation des différents espaces urbains seront connectés entre eux, plus la survie et le développement de la biodiversité seront susceptibles d'être maintenus, voire favorisés.

10) Conception des espaces verts

a. Caractéristiques des espèces

Les espèces utilisées dans la conception des espaces verts doivent être déterminées avec soin. En effet, plusieurs caractéristiques seront importantes à prendre en compte, notamment leur résilience, leur résistance à la pollution, leur adaptation au climat, leur capacité d'absorption des polluants de l'air, leur capacité de rétention d'eau dans des zones à risque d'inondation, ou encore leur potentiel envahissant.

Ainsi, dans le programme de végétalisation des rues de la ville de Bordeaux, certains végétaux ne sont pas tolérés, tels que les plantes épineuses ou urticantes, présentant un risque d'inconvénient pour la vie publique, les végétaux ligneux, c'est-à-dire les arbres, arbustes et les plantes grimpantes à fort développement de type glycine, ainsi que les plantes exotiques envahissantes, notamment le raisin d'Amérique, l'herbe de la pampa, les bambous ou la renouée du Japon. Il est également conseillé de privilégier les plantes résistantes et peu consommatrices en eau, telles que le chèvrefeuille, les narcisses ou la vigne vierge qui nécessitent peu d'arrosage (Ville de Bordeaux, 2017).

La ville de Bègles a elle aussi mis en place des recommandations afin de végétaliser intelligemment les espaces publiques, en privilégiant des plantes florifères et des semences de gazon qui supportent la sécheresse, des arbres adaptés à la région et aux différents milieux tout en se rapprochant le plus possible des espèces indigènes, non ou faiblement allergènes, peu consommateurs d'eau et ne nécessitant pas d'engrais ou de pesticides chimiques, ou encore ayant une capacité à fructifier (Mairie de Bègles, 2013).

Par exemple, différentes espèces de chênes (*Quercus rubra*, *Quercus ilex*, *Quercus palustris*), d'érables (*Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*), le tilleul à petites feuilles (*Robinia pseudoacacia*), différents arbres fruitiers tels que l'abricotier (*Prunus armeniaca*), le figuier (*Ficus carica*), le pêcher (*Prunus persica*), le poirier (*Pyrus communis*), le pommier (*Malus pumila*) et le cerisier (*Prunus cerasus*), ainsi que l'if à baies (*Taxus bacata*) ont été utilisés dans les milieux naturels, semi-naturels et urbains de Bègles comme le Parc de Mussonville, les Zones humides ou la Plaine des sports et les Parcs de la Mairie et de la Bibliothèque. Dans les milieux urbains tels que les rues et avenues, écoles, squares, places et parkings, des plantes tapissantes ont également été utilisées, notamment les graminées du genre *Pennisetum*, la petite pervenche (*Vinca minorr 'alba'*), le lierre (*Hedera algerian bellecou*), le lamier (*Lamium maculatum*) et la pachysandra (*Pachysandra terminalis*).

Un mélange fleur spécial « Bègles » a été créé, parmi d'autres espèces plantées dans les prairies fleuries, contenant les espèces suivantes : *Escoltzia californica, Lobularia maritima, Cheiranthus cheiri, Cerastum white, Bellis perennis* et *Thymus vulgaris*. Il est utilisé pour l'aménagement, à des fins de diminution d'entretien des dépendances vertes et d'amélioration de la biodiversité.

De plus, certaines pratiques ont été mises en place afin de faciliter l'entretien des espaces, telles que la mise en place de prairies fleuries pour limiter le désherbage ainsi que de paillage pour conserver l'humidité dans les massifs, tout en conservant un arrosage en basse pression et en micro-irrigation pour les arbres et arbustes.

De même, dans le cas des murs végétalisés, il est important que les espèces considérées ne favorisent pas la dégradation du mur sous-jacent au minimum, mais au contraire préservent son intégrité structurelle, voire contribuent à le protéger (Francis, 2011).

Par exemple, le lierre grimpant pourrait jouer un rôle de protection contre la décomposition des murs de pierre en réduisant leur exposition aux particules de poussière et de pollution, qui présente également un intérêt pour la santé respiratoire humaine et animale (Sternberg et al., 2010), ainsi qu'en modérant le microclimat de leur surface, diminuant ainsi la probabilité de gel lors des saisons froides et de cristallisation du sel lors des cycles de sécheresse et d'humidité des saisons plus chaudes (Sternberg et al., 2011).

La fougère grimpante *Lygodium japonicum*, très répandue dans les jardins au Japon, est également utilisée comme régulateur de température dans les murs végétaux (Hara et al., 2016).

Au Royaume Uni, Hewitt, professeur de Chimie Atmosphérique basé à l'Université de Lancaster, a effectué une classification des arbres indigènes en fonction de leur capacité à améliorer la qualité de l'air ou au contraire à la détériorer.

Les résultats de ses recherches indiquent que le frêne, l'aulne commun, certains érables, le mélèze faisant partie des conifères, le pin écossais et le bouleau argenté étaient les plus susceptibles d'améliorer la qualité de l'air, alors que plusieurs espèces de chênes et de saules pourraient avoir l'effet inverse (Hewitt, 2002).

b. Variété des espèces et habitats

La diversité des habitats, et donc des espèces utilisées dans les espaces verts urbains est importante. En effet, elle peut favoriser une diversité des espèces animales qui viendront coloniser les espaces verts, contribuant ainsi à la création d'un écosystème riche et varié assurant diverses fonctions et services.

La relation entre la diversité des habitats et la diversité des espèces animales qui les colonisent est complexe, et varie en fonction des espèces, de l'échelle spatiale considérée, ainsi que du moment d'observation, comme l'ont mis en évidence Tews et al. (2004) dans leur synthèse.

On observe dans de nombreux cas une corrélation positive entre l'hétérogénéité des habitats et la diversité des espèces, mais celle-ci est majoritairement conditionnée à l'observation à une échelle spatiale particulière, différente selon les groupes taxonomiques, définissant alors le concept de structure végétale clef introduit par Tews et al. En effet, ces derniers ont observé que chaque groupe dépend d'un aspect structurel spécifique de la végétation, qui apporte des ressources, un refuge ou d'autres formes de biens et de services, et que l'on peut uniquement détecter à une certaine échelle spatiale.

Ainsi, au-delà de privilégier l'hétérogénéité des habitats et la diversité des espèces végétales qui les fournissent, il est important de considérer ces structures clefs qui soutiendront ou au contraire diminueront la biodiversité selon qu'elles seront conservées, recréées ou au contraire détruites.

c. Coopération multidisciplinaire de tous les acteurs impliqués

Afin que de tels projets voient le jour et soient durables, il est impératif que tous les acteurs concernés participent à l'élaboration du projet, à sa réalisation ainsi qu'à son entretien. Ceci augmente la probabilité de trouver les solutions les plus adaptées à l'environnement et à la population concernés, et favorise l'aboutissement ainsi que de la viabilité du projet.

Par exemple, le Centre National de Recherche d'Environnement Construit Durable en Australie a réalisé un projet en 2011 d'Application de l'Urbanisme selon le principe de Biophilie d'Edward Wilson, qui a réuni différents acteurs concernés, principalement dans l'industrie, l'université et le gouvernement. Ceci a permis à chaque participant de partager leur vision d'une ville biophile et les éléments qui peuvent contribuer ou freiner la réalisation de cette vision, puis de considérer collectivement les aspects économiques tels que les coûts et bénéfices directs et indirects de tels éléments. Un des objectifs d'une telle démarche est d'apporter des effets bénéfiques aux différents partenaires et de poursuivre la collaboration sur le long terme (Reeve et al., 2011).

L'implication de la population est également un facteur clé, qui permet aussi à ceux qui n'ont pas conscience de l'enjeu de préservation de la biodiversité d'être sensibilisés et de se responsabiliser par rapport à leurs habitudes de vie, voire de promouvoir de nouvelles initiatives à l'échelle locale qui peuvent être bénéfiques pour les écosystèmes concernés.

11) Entretien durable des espaces verts pour favoriser la biodiversité

a. Utilisation des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires tels que les engrais et les pesticides sont de plus en plus mis en cause dans la dégradation et la destruction des sols et de la biodiversité, ainsi que par leur impact sur la qualité de l'eau et de la santé humaine ou animale, particulièrement chez les insectes, pollinisateurs ou non (Relyea, 2005 ; Sluijs et al., 2015). Ainsi, de nombreuses villes choisissent un autre mode de gestion des espaces verts.

En France, la loi numéro 2014-110 du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national (Journal Officiel de la République Française du 8 février 2014) est entrée en vigueur le 1er janvier 2017 selon l'article 68 de la loi numéro 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (Journal Officiel de la République Française du 18 août 2015) et prévoit l'interdiction de l'utilisation des produits phytosanitaires dans les espaces publiques, sauf exceptions mentionnées dans la loi.

Le programme de végétalisation des rues de la ville de Bordeaux spécifie donc l'interdiction d'utiliser tout désherbant ou pesticide à l'exception de la fumure organique (compost ménager ou terreau, par exemple), ainsi que tout engrais minéral (Ville de Bordeaux, 2017).

La ville de Bègles, précurseur ayant adopté de telles pratiques depuis plusieurs années déjà, suit des recommandations de gestion différenciée des espaces, qui regroupent différentes alternatives. De telles recommandations ont été établies notamment par Gentiana, Société botanique dauphinoise Dominique Villars,

pour le département de l'Isère en 2005, réactualisées et enrichies dans leur guide « La Gestion raisonnable des espaces communaux » de 2016. Ainsi, le principe d'une gestion différentiée est d'établir différents niveaux de gestion des espaces verts, allant d'une gestion la plus naturelle nécessitant donc très peu d'intervention humaine, à un entretien beaucoup plus intensif, selon les besoins. Ces niveaux de gestion ou classes peuvent par exemple aller de naturel à ornemental, en passant par semi-naturel et classique (Kopf et Gourgues, 2016).

Ensuite, différentes alternatives de gestion de ces espaces peuvent être proposées, afin de limiter l'usage de produits délétères et de favoriser le développement d'une biodiversité non envahissante.

Par exemple, le désherbage thermique manuel à l'aide d'outils adaptés, effectué à la bonne période, en sélectionnant les espèces à enlever et celles à conserver, permet d'éviter tout dégât collatéral pour la biodiversité lors de l'entretien, notamment en conservant des espèces utiles mais souvent considérées comme « mauvaises herbes » telles que le lierre qui peut jouer un rôle favorable pour la faune environnante, y compris les pollinisateurs.

Le paillage et les plantations au pied des arbres permettent par ailleurs de limiter la pousse de certaines espèces envahissantes et diminuent ainsi les nécessités d'entretien (Kopf et Gourgues, 2016).

L'utilisation d'herbicides et de pesticides dans l'agriculture est également un facteur aggravant la perte de biodiversité dont les effets délétères peuvent être persistants, aussi bien dans les sols que chez les plantes, les insectes ou encore les oiseaux (Geiger et al., 2010 ; Puig-Montserrat et al., 2017 ; Sluijs et al., 2015).

Ainsi, l'agriculture biologique et les formes d'agriculture utilisant des tactiques naturelles pour lutter contre les indésirables et produire de manière rentable, telles que la permaculture et la biodynamie, représentent des alternatives favorables au développement de la biodiversité en ville. De plus, la diversité des plantations dans ces types d'agriculture, en particulier si l'accent est mis sur des variétés locales, anciennes ou « oubliées » au lieu des monocultures intensives de l'agriculture chimique, soutient la conservation et la restauration d'une biodiversité riche, locale et variée.

b. Pratiques durables de taille

La taille des arbres et arbustes est un des aspects de l'entretien de la biodiversité en ville auquel il est nécessaire de prêter attention. En effet, afin d'éviter une propagation incontrôlée de la végétation, et ainsi risquer la détérioration des habitations et autres constructions urbaines, la taille peut être nécessaire.

Or, selon le moment de l'année, la taille peut interférer dans le cycle de reproduction des oiseaux, qui construisent leurs nids et élèvent les petits à l'intérieur des haies et des arbres. Il est donc impératif d'attendre que la saison de nidification soit terminée pour procéder à la taille de ces derniers afin de préserver les nids jusqu'à l'envol de la progéniture.

Depuis 2015, il est donc désormais interdit en France de tailler les haies et les arbres entre le 1er avril et le 31 juillet selon l'Arrêté du 24 avril 2015 relatif aux règles de bonnes conditions agricoles et environnementales.

12) Dispositifs encourageant la faune à vivre en ville

Il est possible de construire des habitats artificiels en ville, tels que des nichoirs ou autres refuges pour différentes espèces notamment d'oiseaux, de mammifères, de reptiles. Ainsi, ils fournissent un abri qui peut servir de lieu de reproduction (Figure 33).

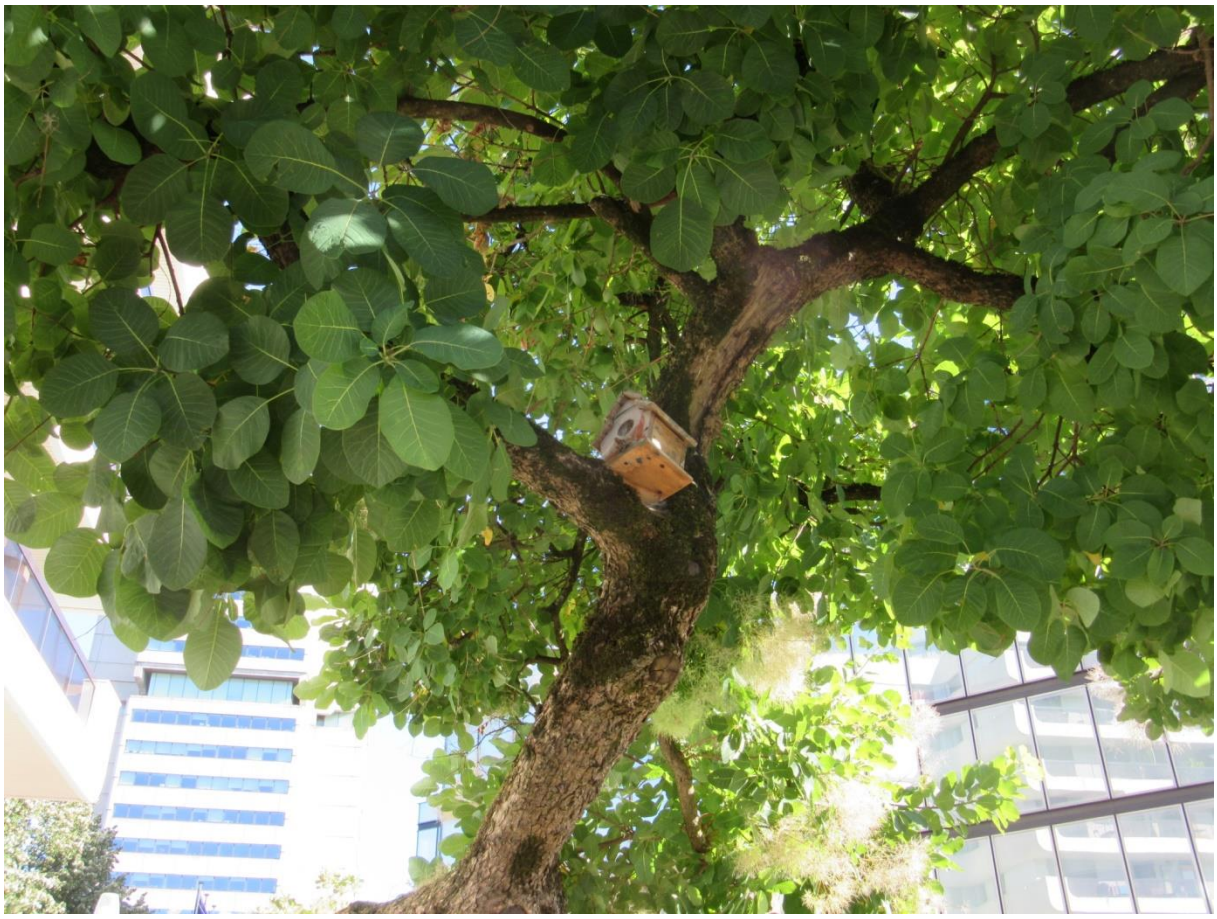

Figure 33. Nichoir installé dans un arbre sur les terrasses de Meriadeck, Bordeaux, 2017.

Des dispositifs de mise à disposition de nourriture peuvent être ajoutés, afin d'aider les populations ciblées à survivre et se développer.

Dans les ports, certains procédés tels que le Biohut peuvent également être mis en place dans le but d'offrir un habitat propice à la nurserie pour les poissons juvéniles tout en fournissant un substrat permettant la fixation d'une nourriture adaptée, par exemple des coquilles d'huîtres vides ou un cordage en fibre de coco, afin que la croissance de ces animaux se déroule sans danger.

Ces dispositifs sont installés de manière à offrir un corridor écologique dans le port, aidant ainsi les juvéniles à sortir du bassin portuaire afin de regagner leurs habitats naturels à l'âge adulte (Nappex, 2016).

Il est également possible pour les particuliers d'installer dans leurs étangs des pots en terre cuite, des boîtes à chaussure en plastique ou encore des plantes flottantes ou des nénuphars qui créent un camouflage et offrent éventuellement de la nourriture aux poissons.

13) Programmes d'éducation de la population

a. Connaissance et valeur de la biodiversité et de la nature « sauvage »

La préservation de la biodiversité est un enjeu majeur global, individuel et collectif. Ainsi, il est crucial que chacun se sente concerné, c'est pourquoi il est également important de changer la perception de la biodiversité et de la nature sauvage, considérée comme dangereuse, inesthétique voire même sale par une partie de la population.

Or, pour influencer la vision de la nature et de la biodiversité, la connaissance de ces dernières est une étape fondamentale, étant donné que nous ressentons plus facilement de la peur envers ce qui nous est inconnu. C'est là que peuvent intervenir différents programmes d'éducation à la population, qui ont progressivement été mis en place un peu partout dans le monde et continuent de voir le jour. Des visites guidées de jardins botaniques aux programmes de reconnaissances et d'inventorisation de la biodiversité organisés par certains musées, tel que le Musée d'Histoire Naturelle d'Alabama qui propose au public de soumettre des observations sur les espèces qu'ils observent dans la région (University of Alabama, 2017), toutes ces initiatives permettent à la population non scientifique de prendre conscience de la biodiversité qui nous entoure, de se familiariser avec elle, et de participer à la répertorier et à la conserver.

L'agriculture urbaine et péri-urbaine permet également la préservation et la transmission des connaissances sur la biodiversité. C'est une part importante de la culture et des traditions locales qui influence positivement l'attachement et le lien entre la population et la biodiversité.

Ainsi, la proximité avec la nature et la connaissance des différentes espèces qui la composent permettent de développer un lien privilégié avec toutes les formes de vie, de cesser de les voir comme menaçantes et au contraire de les considérer comme quelque chose de précieux qu'il est nécessaire de préserver.

b. Participation aux programmes d'urbanisation et de végétalisation urbaine

Au-delà de la connaissance de la biodiversité, l'interaction avec la nature est une part très importante de la relation que nous entretenons avec elle. C'est pourquoi il est bénéfique d'impliquer la population dans toutes les initiatives de végétalisation urbaine afin de les voir se développer et perdurer.

Les habitants des zones concernés par des programmes d'urbanisation se sont ainsi montrés favorables à l'introduction d'espaces verts lorsqu'ils ont été consultés (Kuo et al., 1998). Ils peuvent ensuite également participer à l'entretien de ces espaces, et avoir ainsi à cœur de leur viabilité dans le temps. De plus, le processus de consultation et de décision permet d'informer sur les bénéfices directs et indirects que peuvent leur apporter cette proximité avec plus de nature et de biodiversité.

DISCUSSION

Nous assistons à l'heure actuelle à une perte rapide de biodiversité, notamment due à l'urbanisation croissante qui impose de nombreuses contraintes, auxquelles les espèces s'adaptent plus ou moins bien. La fragmentation des habitats, l'artificialisation des sols, l'utilisation de produits phytosanitaires, l'agriculture intensive, la pollution atmosphérique et le changement climatique, dont l'effet d'îlot de chaleur urbain, ont des conséquences sur la reproduction, la survie et le développement de nombreuses espèces, pouvant entraîner leur prolifération, leur diminution ou leur extinction.

Cette diminution de la biodiversité impacte les écosystèmes et leurs services, dont plusieurs concernent la santé humaine, notamment ceux de provision d'eau et de nourriture de qualité, de régulation de la qualité de l'air et du microclimat, de récréation et de contribution à un environnement sûr et propice au bien-être physique et psychologique de la personne. Ainsi, la préservation et l'intégration de la biodiversité en ville pourraient permettre de rétablir ou d'améliorer certains de ces services. Tout d'abord, la présence de végétation en ville a des conséquences majoritairement positives sur la qualité de l'air, en préservant son humidité et en captant les particules en suspension provenant de la pollution, et a été associée à une prévalence plus faible des maladies respiratoires telles que l'asthme. La pollution de l'air est également un facteur de risque dans les maladies cardiovasculaires, et apparaît corrélé avec le risque d'accident vasculaire cérébral, aux côtés d'un faible niveau d'exposition aux espaces verts.

La proximité avec la biodiversité et les espaces naturels aurait également de nombreux bénéfices pour la gestion des émotions et le bien-être psychologique. Elle est associée à une meilleure gestion du stress et des émotions vécues comme négatives telles que la frustration, la colère, la dépression ou la confusion, à l'apparition d'états méditatifs, ainsi qu'à un effet de restauration de l'attention qui peut participer à l'amélioration des symptômes du trouble déficitaire de l'attention. Certains espaces naturels tels que les jardins partagés ou communautaires, les parcs et aires de jeux, favorisent également le lien et la cohésion sociale qui renforcent la satisfaction et le bien-être, et la présence de végétation dans les quartiers défavorisés a été associée à une réduction des manifestations d'agressivité et de violence. Ces effets commencent à être observés chez les personnes atteintes de démences telles que la maladie d'Alzheimer, soignants, patients et familles rapportant un bien-être et un équilibre émotionnel augmentés, une meilleure motivation et une diminution des incidents comportementaux avec l'utilisation de jardins thérapeutiques.

La présence de végétation est également impliquée dans les phénomènes de gestion de la douleur et de récupération après certaines interventions chirurgicales et serait susceptible de jouer un rôle dans la prévention du surpoids et de l'obésité, éventuellement par une lutte contre la sédentarité et le manque d'exercice physique. La biodiversité a également un rôle dans le système immunitaire par l'exposition aux micro-organismes et allergènes naturels présents dans l'environnement, favorisant le développement d'une flore commensale riche et fonctionnelle et diminuant le risque de manifestations allergiques.

Au niveau des maladies infectieuses, l'influence de la biodiversité est plus complexe. En effet, la diversité élevée de certaines espèces aviaires et mammifères a été associée dans une partie de l'Asie à une prévalence plus importante de

maladies infectieuses, tout en jouant un rôle bénéfique dans la réduction des épidémies par le phénomène de dilution. Ainsi, la gestion de la biodiversité dans les villes demande une attention particulière, afin d'encourager la survie et le développement des espèces sans introduire d'espèces exotiques envahissantes potentiellement porteuses de maladies infectieuses graves.

La conservation et l'inclusion de la biodiversité en ville présentent ainsi de nombreux avantages en termes de santé publique et environnementale. De plus en plus de chercheurs se concentrent sur les différentes modalités par lesquelles cette biodiversité peut être préservée ou réintroduite, afin d'améliorer les services écosystémiques fournis. Parmi les différents courants de pensée se rapportant à la relation de l'Homme avec la nature, Edward Wilson a joué un rôle majeur dans le concept de la biophilie, dont il est à l'origine, qui représente la fascination et l'attrait naturel pour la nature. À partir de ce concept s'est développé un intérêt grandissant pour les villes biophiles qui incluent la nature par divers dispositifs, espaces verts et infrastructures vertes afin de créer une harmonie entre les constructions humaines et cette nature fascinante.

De nombreuses recommandations ont été mises en place afin de préserver et inclure la biodiversité dans et autour des villes. Les zones naturelles, non urbaines ou péri-urbaines représentent des réservoirs de biodiversité auxquels peuvent être reliés les espaces de nature en ville par le biais de corridors naturels et doivent donc être conservés en premier lieu. Ainsi, la Conférence sur la Diversité Biologique ayant eu lieu en 1992 a débouché sur de nombreuses recommandations, internationales mais surtout nationales et locales, telles que l'Agenda 21 dont les objectifs se traduisent par différentes démarches de conservation de la biodiversité, de promotion d'une agriculture durable, de changement des habitudes de consommation ou encore de protection et d'amélioration des conditions de santé humaine.

Afin de respecter les engagements pris depuis plusieurs dizaines d'années pour la biodiversité, les possibilités d'actions sont nombreuses. Tout d'abord, dans le souci de préserver les réservoirs péri-urbains, la limitation de l'étalement urbain ainsi que la conception des lotissements favorisant la conservation de la biodiversité sont des mesures clés. Par ailleurs, la mise en place de continuités écologiques reliées à ces réservoirs permet d'établir des réseaux écologiques au sein desquels différentes espèces peuvent se déplacer d'un habitat à un autre. Les espaces verts urbains sont alors reliés à ce qui se nomme la ceinture verte autour de la ville par des corridors, réunis en France sous le terme de Trame Verte et Bleue.

La place des espaces aquatiques dans la biodiversité urbaine ainsi que la gestion de l'eau ont une influence positive sur différents services écosystémiques, notamment la qualité de l'air et de l'eau, la diminution du risque d'inondations, la provision d'habitats pour différentes espèces et les bénéfices directs et indirects qu'ils apportent au bien-être et à la santé humaine. Les cours d'eau, lacs, étangs, et les zones humides en particulier doivent être préservés, et leur utilisation pour créer des espaces verts publics participe à l'attraction de la ville et au bien-être des habitants.

Les parcs urbains et leurs jardins botaniques lorsqu'ils en contiennent sont de grandes réserves de biodiversité en ville, mais de nombreuses autres opportunités existent d'incorporer de la végétation, notamment dans les rues, les parkings, les places et squares, les aires de jeu ou encore la végétalisation d'anciens espaces de

voies ferrées ou de zones industrielles. L'agriculture urbaine, sous forme de jardins partagés, jardins privatifs, fermes urbaines ou tout autre forme de plantations, est également un des moyens à privilégier afin de conserver la biodiversité tout en reconnectant les habitants à la nature et l'aspect culturel local qui a décliné significativement dans certaines régions. Enfin, les études et projets concernant les infrastructures végétalisées se multiplient, notamment les façades, murs et toits végétaux, qui présentent l'avantage de tirer profit des surfaces hors sol afin d'incorporer la biodiversité dans des zones très artificialisées. Elles peuvent ainsi participer aux réseaux écologiques en reliant différents espaces verts dans les villes, et en offrant aux espèces citadines des habitats et la possibilité de se déplacer d'un espace vert à un autre, si assez d'immeubles rapprochés sont utilisés ainsi.

Les projets se multiplient dans le monde entier, de Paris à l'Italie, avec la volonté de créer des villes de plus en plus biophiles qui offrent une façon de vivre en harmonie avec la nature, tout en restant au sein de la civilisation urbanisée. Un des exemples les mieux réussis est actuellement la ville de Singapour, dont le gouvernement a mis l'accent sur la végétalisation depuis de nombreuses années, aboutissant à de nombreux parcs et leur système de connexion principalement composé de passages piétons surélevés et de canopées, qui atteint désormais presque 200 kilomètres (Biophilic Cities, 2017).

Singapour souhaite à présent répondre à la définition d'une « Ville dans un Jardin ». Ainsi, plusieurs projets ont vu le jour, dont un des plus impressionnants est « Garden by the Bay », ou « Jardin sur la Baie », récompensé en tant que Projet International de l'Année par l'Institut Royal des Architectes Britanniques en 2013 (Figure 34). Il présente un complexe de serres contenant différentes espèces de plantes, notamment méditerranéennes, des structures à forme d'arbres de 25 à 50 mètres de haut, et les jardins principaux comprenant 10 jardins à thèmes du monde entier (Arcadis, 2017).

Figure 34. Garden in the Bay, Singapore (Arcadis, 2017).

Ainsi, la volonté de créer des villes biophiles est forte, et la participation de tous les acteurs impliqués est très importante pour la réussite de tels projets, en particulier la population concernée, dont la motivation à entretenir les espaces verts sera d'autant plus forte qu'elle aura participé à les créer et qu'elle sera convaincue des bénéfices qu'ils apportent. Un vrai changement de vision par rapport à la nature est nécessaire, afin de passer de la peur d'une nature dangereuse, en particulier la nature sauvage, à une cohabitation harmonieuse avec entre-aide mutuelle lorsque cela est possible, comme dans la plupart des écosystèmes naturels qui vivent en équilibre. Les écosystèmes urbains pourront alors réaliser avec plus d'efficacité des services susceptibles de bénéficier à la santé des citadins dont les modes de vie urbains ont de nombreuses conséquences sur la santé et le bien-être.

Des études supplémentaires, ainsi que des expérimentations locales, seront nécessaires afin de déterminer quelles solutions sont les plus appropriées à chaque situation et d'évaluer les bénéfices et les risques qu'elles présentent sur les différentes espèces concernées, puisque chaque taxon est susceptible de réagir différemment à la même mesure prise. Il est impossible d'avancer sans faire d'erreur, mais le suivi et l'ajustement des différents projets permettra de tirer les leçons nécessaires afin d'améliorer les stratégies de conservation et d'incorporation de la biodiversité en ville tout en les rendant compatibles et bénéfiques à la santé humaine.

CONCLUSION

La perte de la biodiversité est un enjeu actuel majeur, ayant des conséquences directes et indirectes sur de nombreux paramètres, y compris sur la santé humaine. En milieu urbain, cette perte est particulièrement visible et documentée. Or, avec une urbanisation croissante et une population grandissante dans les villes, la restauration, la préservation et l'intégration de la biodiversité dans ces zones revêt un potentiel important pour pallier aux conséquences délétères qui en découlent, qu'il s'agisse des pathologies respiratoires, cardiovasculaires, immunitaires et allergiques, ou du bien-être et de l'état psychologique de la population.

De nombreuses recommandations et initiatives ont ainsi vu le jour ces dernières années dans le courant de pensée de la biophilie, appelant à végétaliser les villes de manière réfléchie et bénéfique pour les différents acteurs impliqués, notamment grâce à plusieurs types d'infrastructures végétalisées tels que les façades, les murs et les toits des constructions urbaines. Les défis auxquels sont confrontés de tels projets nécessitent l'implication et la collaboration de tous les acteurs afin de choisir les solutions les plus viables et sûres, ainsi qu'une éducation de l'ensemble de la population à l'importance de les mettre en place dès à présent.

L'être humain est au cœur de l'écosystème planétaire, et ne peut s'en extraire sans conséquence. Ainsi, il est urgent de mobiliser le maximum d'efforts pour conserver les écosystèmes et la biodiversité, en particulier au niveau des villes où les services rendus par ces derniers apparaissent très positifs et bénéfiques pour différents aspects de la santé humaine, encourageant une réconciliation entre la nature et la ville dans l'harmonie du vivre ensemble.

BIBLIOGRAPHIE

Agence Française pour la Biodiversité, 2017a. Les 10 parcs nationaux et le projet de parc national : fiche d'identité. Ministère de l'Environnement. Page web [Consultée le 3 mars 2017]. Disponible sur http://www.parcsnationaux.fr/fr/des-decouvertes/les-parcs-nationaux-de-france/les-10-parcs-nationaux-et-le-projet-de-parc-national

Agence Française pour la Biodiversité, 2017b. Inventaires et suivis. Ministère de l'Environnement. Page web [Consultée le 3 mars 2017]. Disponible sur http://www.parcsnationaux.fr/fr/des-connaissances/biodiversite/inventaires-et-suivis

Agenda 21 France, 2017. Le Portail des Agendas 21 en France. Page web [Consultée le 13 février 2017], Disponible sur http://www.agenda21france.org/

Akpinar, A., 2016. How is quality of urban green spaces associated with physical activity and health? Urban Forestry & Urban Greening 16, 76–83. doi:10.1016/j.ufug.2016.01.011

Allan, B.F., Keesing, F., Ostfeld, R.S., 2003. Effect of Forest Fragmentation on Lyme Disease Risk. Conservation Biology 17, 267–272. doi:10.1046/j.1523-1739.2003.01260.x

Arcadis, 2017. Gardens by the Bay (Bay South Garden). Page web [Consultée le 7 juin 2017]. Disponible sur https://www.arcadis.com/en/global/what-we-do/our-projects/asia/singapore/gardens-by-the-bay/

Arrêté du 24 avril 2015 relatif aux règles de bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE). NOR: AGRT1503740A. Version consolidée au 23 juin 2017. Document consulté le 7 juin 2017, disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000030555873

Aspe, C., Gilles, A., Jacqué, M., 2014. The role of traditional irrigation canals in a long term environmental perspective - A case study in Southern France: the Durance basin. Journal of Agricultural Sciences and Technology A 4, 1-12.

Aspinall, P., Mavros, P., Coyne, R., Roe, J., 2013. The urban brain: analysing outdoor physical activity with mobile EEG. Br J Sports Med bjsports-2012-091877. doi:10.1136/bjsports-2012-091877

Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.-S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., Schmid, B., 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services: Biodiversity and ecosystem functioning/services. Ecology Letters 9, 1146–1156. doi:10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x

Barbault, R., 2008. Un éléphant dans un jeu de quilles. L'homme dans la biodiversité. Paris, Seuil, 265, [6] p.

Barnosky, A.D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G.O.U., Swartz, B., Quental, T.B., Marshall, C., McGuire, J.L., Lindsey, E.L., Maguire, K.C., Mersey, B., Ferrer, E.A., 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? Nature 471, 51–57. doi:10.1038/nature09678

Barton, J., Hine, R., Pretty, J., 2009. The health benefits of walking in greenspaces of high natural and heritage value. Journal of Integrative Environmental Sciences 6, 261–278. doi:10.1080/19438150903378425

Beier, P., Noss, R.F., 1998. Do Habitat Corridors Provide Connectivity? Conservation Biology 12, 1241–1252. doi:10.1111/j.1523-1739.1998.98036.x

Bell, J.F., Wilson, J.S., Liu, G.C., 2008. Neighborhood greenness and 2-year changes in body mass index of children and youth. Am J Prev Med 35, 547–553. doi:10.1016/j.amepre.2008.07.006

Bellard, C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., 2016. Global patterns in threats to vertebrates by biological invasions. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 283, 20152454. doi:10.1098/rspb.2015.2454

Berge, V., 2013. Les buttes à partager des Incroyables comestibles, SudOuest. Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur http://sudouest.fr/2013/05/04/les-buttes-a-partager-des-incroyables-comestibles-1043597-2780.php

Berto, R., 2005. Exposure to restorative environments helps restore attentional capacity. Journal of Environmental Psychology 25, 249–259. doi:10.1016/j.jenvp.2005.07.001

Besnard A., Jailloux, A. Chiffard Carricaburu, J., 2011. Etat des lieux des opérations de collecte de données à visées scientifiques conduites dans les parcs nationaux français. Rapport pour Parc Nationaux de France.

Biophilic Cities, 2017. Singapore: City in a Garden. Page web [Consultée le 7 juin 2017]. Disponible sur http://biophiliccities.org/blog-singapore/

Blake, J.G., Karr, J.R., 1987. Breeding Birds of Isolated Woodlots: Area and Habitat Relationships. Ecology 68, 1724–1734. doi:10.2307/1939864

Boeri, 2017. Vertical forest. Page web [Consultée le 7 juin 2017]. Disponible sur https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/portfolios/bosco-verticale/

Bordeaux Métropole, 2017. LA RÉALISATION DE LA LIGNE C À TRAVERS BÈGLES : UN CORRIDOR ÉCOLOGIQUE. Page web [Consultation le 27 mars 2017]. Disponible sur http://sedeplacer.bordeaux-metropole.fr/Transports-en-commun/Tramway/Les-lignes-et-extensions/Ligne-C-Begles

Boucher, I., Fontaine, N., 2010. La biodiversité et l'urbanisation, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable, ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, coll. «Planification territoriale et développement durable», 178 p. [www.mamrot.gouv.qc.ca]

Boutin, C., Jobin, B., Bélanger, L., Choinière, L., 2002. [No Title]. Biodiversity and Conservation 11, 1–25. doi:10.1023/A:1014023326658

Brusatte, S.L., Butler, R.J., Barrett, P.M., Carrano, M.T., Evans, D.C., Lloyd, G.T., Mannion, P.D., Norell, M.A., Peppe, D.J., Upchurch, P., Williamson, T.E., 2015. The extinction of the dinosaurs: Dinosaur extinction. Biological Reviews 90, 628–642. doi:10.1111/brv.12128

Bruxelles Environnement, 2016a. Focus : Le maillage vert. Page web [Consultée le 27 mars 2017]. Disponible sur http://www.environnement.brussels/tmp-etat-de-lenvironnement/espaces-verts-et-biodiversite/focus-le-maillage-vert

Bruxelles Environnement, 2016b. Friches. Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur http://www.environnement.brussels/thematiques/espaces-verts-et-biodiversite/la-biodiversite/flore/friches

Butchart, S.H.M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J.P.W., Almond, R.E.A., Baillie, J.E.M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K.E., Carr, G.M., Chanson, J., Chenery, A.M., Csirke, J., Davidson, N.C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J.N., Genovesi, P., Gregory, R.D., Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J.-F., Leverington, F., Loh, J., McGeoch, M.A., McRae, L., Minasyan, A., Hernández Morcillo, M., Oldfield, T.E.E., Pauly, D., Quader, S., Revenga, C., Sauer, J.R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D., Stuart, S.N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T.D., Vié, J.-C., Watson, R., 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. Science 328, 1164–1168. doi:10.1126/science.1187512

Calkins, M., Szmerekovsky, J.G., Biddle, S., 2007. Effect of Increased Time Spent Outdoors on Individuals with Dementia Residing in Nursing Homes. Journal of Housing For the Elderly 21, 211–228. doi:10.1300/J081v21n03_11

Clay, C.A., Lehmer, E.M., Jeor, S.S., Dearing, M.D., 2009. Sin nombre virus and rodent species diversity: a test of the dilution and amplification hypotheses. PLoS ONE 4, e6467. doi:10.1371/journal.pone.0006467

Code de l'Environnement, 2017. Article L331-1 Modifié par LOI n°2016-1087 du 8 août 2016 - art. 160 (V)). Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idArticle=LEGIARTI000033035766&idSectionTA=LEGISCTA000006176504&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20170303 [Consulté le 3 mars 2017]

Code de l'Environnement, 2017. Article L332-1, L332-2 modifiés. Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idSectionTA=LEGISCTA000006188388&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20170303 [Consulté le 3 mars 2017]

Code de l'Environnement, 2017. Article L333-1 Modifié par LOI n°2016-1087 du 8 août 2016 – art. 48. Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idSectionTA=LEGISCTA000006159241&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20170303 [Consulté le 3 mars 2017]

Code de l'Environnement, 2017. Article L371-1 Modifié par LOI n°2016-1087 du 8 août 2016 - art. 17. Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=D83FDBFEB87764FEB53E0C6C8DAE75C8.tpdila21v_3?idArticle=LEGIARTI000033033687&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20170309&categorieLien=id&oldAction= [Consulté le 9 mars 2017]

Code de l'Environnement, 2017. Article R371-18 Créé par Décret n°2012-1492 du 27 décembre 2012 - art. 1. Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=9F1CB4E00244A488B877CF53581F751E.tpdila21v_3?idArticle=LEGIARTI000026866771&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20170309&categorieLien=id&oldAction [Consulté le 9 mars 2017]

Code de l'Environnement, 2017. Article R371-19 Créé par Décret n°2012-1492 du 27 décembre 2012 - art. 1. Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=9F1CB4E00244A488B877CF53581F751E.tpdila21v_3?cidTexte=LEGITEXT000006074220&idArticle=LEGIARTI000026866773&dateTexte=20170309&categorieLien=cid#LEGIARTI000026866773 [Consulté le 9 mars 2017]

Code forestier (nouveau), 2017. Article L141-1. Dernière modification le 02 mars 2017. Legifrance 2007-2017.

Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, 1992. Rio de Janeiro. Agenda 21. United Nations Publications, A/CONF.151/26 (Vol. I à III).

Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, 1992. Rio de Janeiro. Déclaration de Rio sur l'Environnement et le Développement. United Nations Publications, A/CONF.151/26 (Vol. I).

Conservation International, 2017. HOTSPOTS, Targeted investment in nature's most important places. Page web [Consultée le 8 février 2017] Disponible sur http://www.conservation.org/How/Pages/Hotspots.aspx

Convention-cadre sur les changements climatiques : Accord de Paris, 2015. Conférence des Parties, vingt et unième session, Paris, 30 novembre-11 décembre 2015. United Nations Publication, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.

Convention On Biological Diversity, 2017. History of the Convention Page web [Consultée le 12 février 2017] Disponible sur https://www.cbd.int/history/

Convention sur la Diversité Biologique, 1992. 1760 UNTS 79; 31 ILM 818.

COP 5 - Fifth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity Nairobi, Kenya, 15 - 26 May 2000. Décision V/6 A.2.. Disponible sur https://www.cbd.int/decision/cop/?id=7148

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387, 253–260. doi:10.1038/387253a0

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R.K., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change 26, 152–158. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

Courtirey, 2017. COURTIREY : Une structure autonome pour cultiver en étages et en pleine terre ! Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur http://www.courtirey.com

Cox, H., Burns, I., Savage, S., 2004. Multisensory Environments for Leisure: Promoting Well-being in Nursing Home Residents With Dementia. Journal of Gerontological Nursing 30, 37–45. doi:10.3928/0098-9134-20040201-08

Critical Ecosystem Partnership Fund, 2017. THE BIODIVERSITY HOTSPOTS. Page web [Consultée le 8 février 2017]. Disponible sur http://www.cepf.net/resources/hotspots/Pages/default.aspx

Déclaration d'Aichi-Nagoya sur les Autorités Locales et la Diversité Biologique, 2010. Sommet sur les villes et la biodiversité. Disponible sur https://www.cbd.int/doc/meetings/city/cbs-2010/official/cbs-2010-declaration-fr.pdf

Deguignet M., Juffe-Bignoli D., Harrison J., MacSharry B., Burgess N., Kingston N., 2014. Liste des Nations Unies des Aires Protégées 2014. UNEP-WCMC: Cambridge, UK.

De Vries, S., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., Spreeuwenberg, P., 2003. Natural Environments—Healthy Environments? An Exploratory Analysis of the Relationship between Greenspace and Health. Environment and Planning A 35, 1717–1731. doi:10.1068/a35111

De Vries, S., van Dillen, S.M.E., Groenewegen, P.P., Spreeuwenberg, P., 2013. Streetscape greenery and health: stress, social cohesion and physical activity as mediators. Soc Sci Med 94, 26–33. doi:10.1016/j.socscimed.2013.06.030

Diette, G.B., Lechtzin, N., Haponik, E., Devrotes, A., Rubin, H.R., 2003. Distraction Therapy With Nature Sights and Sounds Reduces Pain During Flexible Bronchoscopya. Chest 123, 941–948. doi:10.1378/chest.123.3.941

Domofrance 2012, Etude de restitution de zone humide : Esquisse de plan de gestion. Projet d'aménagement du quartier d'habitat Bel Air phase 2 à Bègles (33). Bureau d'études : Rivière-Environnement/

Eagle Street Fooftop Farm, 2017. About. Page web [Consultée le 5 juin 2017]. Disponible sur http://rooftopfarms.org/

Ecodomaine des Forges, 2017. L'ÉCODOMAINE DES FORGES, C'EST QUOI? Page web [Consultée le 3 mars 2017]. Disponible sur http://www.ecodomainedesforges.com/ecodomaine-des-forges.

EcoWatch, 2013. 10 Urban Farming Projects in New York City. Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur https://www.ecowatch.com/10-urban-farming-projects-in-new-york-city-1881814232.html

European Environment Agency, 2016. Flood risks and environmental vulnerability. Exploring the synergies between floodplain restoration, water policies and thematic policies. Report No 1/2016. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2800/039463

Field, R., Hawkins, B.A., Cornell, H.V., Currie, D.J., Diniz-Filho, J.A.F., Gu?gan, J.-F., Kaufman, D.M., Kerr, J.T., Mittelbach, G.G., Oberdorff, T., O?Brien, E.M., Turner, J.R.G., 2009. Spatial species-richness gradients across scales: a meta-analysis. Journal of Biogeography 36, 132–147. doi:10.1111/j.1365-2699.2008.01963.x

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. Urban and Peri-Urban Agriculture. Page web [Consultée le 1er juin 2017] Disponible sur http://www.fao.org/unfao/bodies/coag/coag15/x0076e.htm#P106_11554

Francis, R.A., 2011. Wall ecology: A frontier for urban biodiversity and ecological engineering. Progress in Physical Geography 35, 43–63. doi:10.1177/0309133310385166

Friends of the High Line, 2017. About the High Line : Fostering a strong community and neighborhood. Page web [Consultée le 11 mai 2017]. Disponible sur http://www.thehighline.org/about

Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H., Gaston, K.J., 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. Biology Letters 3, 390–394. doi:10.1098/rsbl.2007.0149

Fusco, N.A., Zhao, A., Munshi-South, J., 2017. Urban forests sustain diverse carrion beetle assemblages in the New York City metropolitan area. PeerJ 5, e3088. doi:10.7717/peerj.3088

Gaston, K.J., 2000. Global patterns in biodiversity. Nature 405, 220–227. doi:10.1038/35012228

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W.W., Emmerson, M., Morales, M.B., Ceryngier, P., Liira, J., Tscharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L.W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J.J., Guerrero, I., Hawro, V., Aavik, T., Thies, C., Flohre, A., H?nke, S., Fischer, C., Goedhart, P.W., Inchausti, P., 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic and Applied Ecology 11, 97–105. doi:10.1016/j.baae.2009.12.001

Germaine, S.S., Wakeling, B.F., 2001. Lizard species distributions and habitat occupation along an urban gradient in Tucson, Arizona, USA. Biological Conservation 97, 229–237. doi:10.1016/S0006-3207(00)00115-4

Gianuca, A.T., Engelen, J., Brans, K.I., Hanashiro, F.T.T., Vanhamel, M., van den Berg, E.M., Souffreau, C., Meester, L.D., 2017. Taxonomic, functional and phylogenetic metacommunity ecology of cladoceran zooplankton along urbanization gradients. Ecography. doi:10.1111/ecog.02926

Gibbs, J.P., 2000. Wetland Loss and Biodiversity Conservation. Conservation Biology 14, 314–317. doi:10.1046/j.1523-1739.2000.98608.x

Gilbert, F., Gonzalez, A., Evans-Freke, I., 1998. Corridors maintain species richness in the fragmented landscapes of a microecosystem. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 265, 577–582. doi:10.1098/rspb.1998.0333

Gilbert-Norton, L., Wilson, R., Stevens, J.R., Beard, K.H., 2010. A Meta-Analytic Review of Corridor Effectiveness: Corridor Meta-Analysis. Conservation Biology 24, 660–668. doi:10.1111/j.1523-1739.2010.01450.x

Global Environment Outlook 5, 2012. United Nations Environment Programme. ISBN: 978-92-807-3177-4

Global Health Estimates 2015: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2015. Geneva, World Health Organization; 2016.

Gonzalez, M.T., Kirkevold, M., 2014. Benefits of sensory garden and horticultural activities in dementia care: a modified scoping review. Journal of Clinical Nursing 23, 2698–2715. doi:10.1111/jocn.12388

Grant, G., 2006. Extensive green roofs in London. Urban Habitats 4: 51–65

Guarnieri, M., Balmes, J.R., 2014. Outdoor air pollution and asthma. Lancet 383, 1581–1592. doi:10.1016/S0140-6736(14)60617-6

Guinaudeau, P., 2014. Installations Classées pour la Protection de l'Environnement ; Réhabilitation de la décharge d'Hourcade Réf. Arrêté préfectoral n° 16393 du 16 août 2007. Procès verbal de récolement, visite du 21 novembre 2014. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Région Aquitaine, Bordeaux.

Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G., 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science 342, 850–853. doi:10.1126/science.1244693

Hanski, I., Hertzen, L. von, Fyhrquist, N., Koskinen, K., Torppa, K., Laatikainen, T., Karisola, P., Auvinen, P., Paulin, L., Mäkelä, M.J., Vartiainen, E., Kosunen, T.U., Alenius, H., Haahtela, T., 2012. Environmental biodiversity, human microbiota, and allergy are interrelated. PNAS 109, 8334–8339. doi:10.1073/pnas.1205624109

Hara, A., Takaichi, H., Murata, Y., Sakata, R., Hara, Y., Iwase, J., Comparini, D., Suzuki, T., Kawano, T., 2016. Optical evaluation of the shading properties of climbing fern Lygodium japonicum used as thermal buffering green wall plant. Advances in Horticultural Science.

Heino, J., Bini, L.M., Andersson, J., Bergsten, J., Bjelke, U., Johansson, F., 2017. Unravelling the correlates of species richness and ecological uniqueness in a metacommunity of urban pond insects. Ecological Indicators 73, 422–431. doi:10.1016/j.ecolind.2016.10.006

Hewitt N. Trees and Sustainable Urban Air Quality. 2002. Lancaster Uniersity. Document disponible sur http://www.es.lancs.ac.uk/people/cnh/UrbanTreesBrochure.pdf

Hu, Z., Liebens, J., Rao, K.R., 2008. Linking stroke mortality with air pollution, income, and greenness in northwest Florida: an ecological geographical study. International Journal of Health Geographics 7, 20. doi:10.1186/1476-072X-7-20

Hua, Y., 2004. Distribution of Plant Species Richness along Elevation Gradient in Hubei Province, China. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing, China.

Ignatieva, M.E., Stewart, G.H., 2009. Homogeneity of urban biotopes and similarity of landscape design language in former colonial cities, in: McDonnell, M.J., Hahs, A.K., Breuste, J.H. (Eds.), Ecology of Cities and Towns. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 399–421. doi:10.1017/CBO9780511609763.024

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010. Gérer les eaux pluviales sur la parcelle. Guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petits bâtiments, Recommandation pratique ENE22 EAU01.

Inventaire National du Patrimoine Naturel, 2017. LE RÉSEAU NATURA 2000. Page web [Consultée le 3 mars 2017]. Disponible sur https://inpn.mnhn.fr/programme/natura2000/presentation/objectifs

International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946. Preamble to the Constitution of the World Health Organization. Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100.

International Union for Conservation of Nature, 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016-3. Disponible sur http://www.iucnredlist.org. [Consulté le 6 février 2017]

International Union for Conservation of Nature, 2017. Protected Areas Categories. Page web [Consultée le 3 mars 2017] Disponible sur https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-areas-categories

Joncas, 2015. Le journal de Montréal. Étouffés par une taxe spéciale. Page web [Consultée le 7 mars 2017]. Disponible sur http://www.journaldemontreal.com/2015/11/26/etouffes-par-une-taxe-speciale

Journal Officiel de la République Française n°0033 du 8 février 2014 page 2313 texte n° 1 LOI n° 2014-110 du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national (1). Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000028571536&categorieLien=id

Journal Officiel de la République Française n°0189 du 18 août 2015 page 14263 texte n° 1 LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1). Document disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=213AD59E33B9777DED0B3A459DCDA643.tpdila21v_3?cidTexte=JORFTEXT000031044385&categorieLien=id

Journal Officiel des Communautés Européennes n° L 206 du 22/07/1992 p. 0007 – 0050. Directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages.

Kaplan, S., 1995. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. Journal of Environmental Psychology 15, 169–182. doi:10.1016/0272-4944(95)90001-2

Keep Growing Detroit, 2011. About us. Page web [Consultée le 5 juin 2017]. Disponible sur http://detroitagriculture.net/about/

Keesing, F., Holt, R.D., Ostfeld, R.S., 2006. Effects of species diversity on disease risk. Ecol. Lett. 9, 485–498. doi:10.1111/j.1461-0248.2006.00885.x

Kehoe, L., Kuemmerle, T., Meyer, C., Levers, C., Václavík, T., Kreft, H., 2015. Global patterns of agricultural land-use intensity and vertebrate diversity. Diversity and Distributions 21, 1308–1318. doi:10.1111/ddi.12359

Köhler, M., 2008. Green facades—a view back and some visions. Urban Ecosystems 11, 423–436. doi:10.1007/s11252-008-0063-x

Kopf, M., Gourgues, F., 2016. La gestion raisonnable des espaces communaux. Livret technique à destination des collectivités de l'Isère. GENTIANA, Société botanique dauphinoise Dominique Villars, Grenoble. 60 pages Disponible gratuitement sur www.gestionraisonnable.fr Réactualisation du Guide de la gestion raisonnable des espaces communaux. Pierre Salen, Annelyse Comparet (GENTIANA 2005).

Kuo, F.E., Bacaicoa, M., Sullivan, W.C., 1998. Transforming Inner-City Landscapes: Trees, Sense of Safety, and Preference. Environment and Behavior 30, 28–59. doi:10.1177/0013916598301002

Kuo, F.E., 2001. Coping with Poverty Impacts of Environment and Attention in the Inner City. Environment and Behavior 33, 5–34. doi:10.1177/00139160121972846

Kuo, F.E., Sullivan, W.C., 2001. Environment and Crime in the Inner City: Does Vegetation Reduce Crime? Environment & Behavior 33, 343–367. doi:10.1177/00139160121973025

Kuo, F.E., Faber Taylor, A., 2004. A Potential Natural Treatment for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Evidence From a National Study. American Journal of Public Health 94, 1580–1586. doi:10.2105/AJPH.94.9.1580

Kupryś-Lipińska, I., Kuna, P., Wagner, I., 2014. Water in the urban space and the health of residents. ResearchGate 5, 47–55.

Lefcheck, J.S., Byrnes, J.E.K., Isbell, F., Gamfeldt, L., Griffin, J.N., Eisenhauer, N., Hensel, M.J.S., Hector, A., Cardinale, B.J., Duffy, J.E., 2015. Biodiversity enhances ecosystem multifunctionality across trophic levels and habitats. Nature Communications 6, 6936. doi:10.1038/ncomms7936

Le Groupe Platinum Construction 2001 inc., 2017. Le Quartier Chambéry. Page web [Consultée le 7 mars 2017]. Disponible sur http://legroupeplatinum.com/projets-condos-maisons/chambery-blainville

Le Monde, 2013. La ville américaine de Detroit se déclare en faillite. Page web [Consultée le 5 juin 2017]. Disponible sur http://www.lemonde.fr/ameriques/article/2013/07/18/la-ville-americaine-de-detroit-se-declare-en-faillite_3449873_3222.html

Lévêque, C., Mounoulou, J.C., 2001. Biodiversité, dynamique biologique et conservation, Paris, DUNOD, 248 p.

Lewan, A., 2014. The Business of Urban Farming Takes Root in Detroit. Entrepreneur. Page web [Consultée le 5 juin 2017]. Disponible sur https://www.entrepreneur.com/article/239844

Li, A.M.L., 2017. Ecological determinants of health: food and environment on human health. Environmental Science and Pollution Research 24, 9002–9015. doi:10.1007/s11356-015-5707-9

Locey, K.J., Lennon, J.T., 2016. Scaling laws predict global microbial diversity. PNAS 113, 5970–5975. doi:10.1073/pnas.1521291113

LoGiudice, K., Ostfeld, R.S., Schmidt, K.A., Keesing, F., 2003. The ecology of infectious disease: Effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk. Proceedings of the National Academy of Sciences 100, 567–571. doi:10.1073/pnas.0233733100

Lovasi, G.S., Quinn, J.W., Neckerman, K.M., Perzanowski, M.S., Rundle, A., 2008. Children living in areas with more street trees have lower prevalence of asthma. Journal of Epidemiology & Community Health 62, 647–649. doi:10.1136/jech.2007.071894

Lövei, G.L., Magura, T., 2017. Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) diversity is higher in narrow hedges composed of a native compared to non-native trees in a Danish agricultural landscape. Insect Conservation and Diversity 10, 141–150. doi:10.1111/icad.122106

Maantay, J., 2007. Asthma and air pollution in the Bronx: Methodological and data considerations in using GIS for environmental justice and health research. Health & Place 13, 32–56. doi:10.1016/j.healthplace.2005.09.009

Maas, J., 2006. Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? Journal of Epidemiology & Community Health 60, 587–592. doi:10.1136/jech.2005.043125

Mairie de Bègles, 2013. Cahier de préconisations paysagères de la Ville de Bègles. Service PDU. Document disponible sur http://www.mairie-begles.fr/wp-content/uploads/2013/12/cahier-de-preconisations-paysagers-de-la-ville-de-begles.pdf

Mairie de Bègles, 2014. Bègles, capitale régionale de la biodiversité. Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur http://www.mairie-begles.fr/?p=7644

Mairie de Paris, 2017a. La Petite ceinture. Page web [Consultée le 11 mai 2017]. Disponible sur http://www.paris.fr/services-et-infos-pratiques/urbanisme-et-architecture/projets-urbains-et-architecturaux/la-petite-ceinture-2537

Mairie de Paris, 2017b. 10 kilomètres de la Petite Ceinture ouverts d'ici 2020 Page web [Consultée le 11 mai 2017]. Disponible sur https://www.paris.fr/actualites/10-km-de-la-petite-ceinture-ouverts-d-ici-2020-4764

McCain, C.M., 2004. The mid-domain effect applied to elevational gradients: species richness of small mammals in Costa Rica. Journal of Biogeography 31, 19–31. doi:10.1046/j.0305-0270.2003.00992.x

McCracken, D.S., Allen, D.A., Gow, A.J., 2016. Associations between urban greenspace and health-related quality of life in children. Preventive Medicine Reports 3, 211–221. doi:10.1016/j.pmedr.2016.01.013

Mcdonald, R.I., Kareiva, P., Forman, R.T.T., 2008. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. Biological Conservation 141, 1695–1703. doi:10.1016/j.biocon.2008.04.025

McDonnell, M.J., Pickett, S.T.A., Groffman, P., Bohlen, P., Pouyat, R.V., Zipperer, W.C., Parmelee, R.W., Carreiro, M.M., Medley, K., 2008. Ecosystem Processes Along an Urban-to-Rural Gradient, in: Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., Simon, U., ZumBrunnen, C. (Eds.), Urban Ecology. Springer US, Boston, MA, pp. 299–313.

McPherson, E. G., Simpson, J. R., & Scott, K. I., 2000. Actualizing microclimate and air quality benefits with parking lot tree shade ordinances. Wetter und Leben, 4 (98), 353–369. Document consulté le 7 juin 2017, disponible sur http://www.fs.fed.us/psw/programs/cufr/products/11/cufr_69.pdf

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Mindel, B.L., Neat, F.C., Trueman, C.N., Webb, T.J., Blanchard, J.L., 2016. Functional, size and taxonomic diversity of fish along a depth gradient in the deep sea. PeerJ 4, e2387. doi:10.7717/peerj.2387

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013. Massifs forestiers classés en forêts de protection en 2013.

Ministère de la Cohésion des Territoires, 2014. Schéma de cohérence territoriale (SCoT), Page web [Consultée le 13 février 2017] Disponible sur http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/schema-de-coherence-territoriale-scot

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 2011. , 2011. Stratégie Nationale pour la Biodiversité 2011-2020. Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature. Document disponible sur http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Strat%C3%A9gie%20nationale%20pour%20la%20biodiversit%C3%A9%202011-2020.pdf [Consulté le 13 février 2017].

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 2015. Stratégie Nationale de Transition Ecologique vers un Développement Durable 2015- 2020. Document disponible sur http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/SNTEDD%20-%20La%20strat%C3%A9gie.pdf [Consulté le 13 février 2017].

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 2017. Espace presse, Page web [Consultée le 13 février 2017] Disponible sur https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/?Strategie-nationale-pour-la-biodiversite

Mitchell, R., Popham, F., 2008. Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. The Lancet 372, 1655–1660. doi:10.1016/S0140-6736(08)61689-X

Mooney, P., Nicell, P.L., 1992. The importance of exterior environment for Alzheimer residents: Effective care and risk management. ResearchGate 5, 23–9.

Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G.B., Worm, B., 2011. How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? PLOS Biology 9, e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127

Morand, S., Jittapalapong, S., Suputtamongkol, Y., Abdullah, M.T., Huan, T.B., 2014. Infectious diseases and their outbreaks in Asia-Pacific: biodiversity and its regulation loss matter. PLoS ONE 9, e90032. doi:10.1371/journal.pone.0090032

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403, 853–858. doi:10.1038/35002501

Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D.B., Bloom, A.J., Carlisle, E., Dietterich, L.H., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N.M., Nelson, R.L., Ottman, M.J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K.A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M., Usui, Y., 2014. Increasing CO2 threatens human nutrition. Nature 510, 139–142. doi:10.1038/nature13179

Nappex, 2016. La gamme Biohut. Page web [Consultée le 8 juin 2017]. Disponible sur http://www.nappex.fr/le-procede-biohut/la-gamme-biohut/

National Park System, 2017. National Park System Timeline (Annotated). History E-Library, Page web [Consultée le 3 mars 2017], Disponible sur https://www.nps.gov/parkhistory/hisnps/NPSHistory/timeline_annotated.htm

Nations Unies, 2015. Transforming our World : The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations Publication, A/RES/70/1.

Nielsen, T.S., Hansen, K.B., 2007. Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. Health Place 13, 839–850. doi:10.1016/j.healthplace.2007.02.001

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, 115–123. doi:10.1016/j.ufug.2006.01.007

Ortega-Alvarez, R., Rodriguez-Correa, H.A., MacGregor-Fors, I., 2011. Trees and the City: Diversity and Composition along a Neotropical Gradient of Urbanization. International Journal of Ecology 2011, e704084. doi:10.1155/2011/704084

Paquet, C., Orschulok, T.P., Coffee, N.T., Howard, N.J., Hugo, G., Taylor, A.W., Adams, R.J., Daniel, M., 2013. Are accessibility and characteristics of public open spaces associated with a better cardiometabolic health? Landscape and Urban Planning 118, 70–78. doi:10.1016/j.landurbplan.2012.11.011

Pasanen, S., 2013. Urban Green Space and Physical Activity: Can urban green space advance health by encouraging physical activity?, 71p. Master's Thesis, Social Sciences, Helsinki.

Pasari, J.R., Levi, T., Zavaleta, E.S., Tilman, D., 2013. Several scales of biodiversity affect ecosystem multifunctionality. Proceedings of the National Academy of Sciences 110, 10219–10222. doi:10.1073/pnas.1220333110

Peh K, Corlett R., Bergeron Y. (eds.), 2015. The Routledge Handbook of Forest Ecology. Routledge, Oxford, UK. Chapter « Global patterns of biodiversity in forests ».

Pimm, S.L., Jenkins, C.N., Abell, R., Brooks, T.M., Gittleman, J.L., Joppa, L.N., Raven, P.H., Roberts, C.M., Sexton, J.O., 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. Science 344, 1246752. doi:10.1126/science.1246752

Pope, C.A., Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Godleski, J.J., 2004. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. Circulation 109, 71–77. doi:10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F

Provenzano Elsa, 2017. Bordeaux: Le premier potager urbain ouvert librement à la cueillette se lance, 20 minutes. Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur http://www.20minutes.fr/bordeaux/2071583-20170519-bordeaux-premier-potager-urbain-ouvert-librement-cueillette-lance

Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., Neira, M., 2016. Preventing disease through healthy environments A global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva, Switzerland : World Health Organization.

Pugh, T.A.M., MacKenzie, A.R., Whyatt, J.D., Hewitt, C.N., 2012. Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. Environmental Science & Technology 46, 7692–7699. doi:10.1021/es300826w

Puig-Montserrat et al., 2017. Effects of organic and conventional crop management on vineyard biodiversity

Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, Rio de Janeiro, 3-14 Juin 1992. United Nations publication, Sales No. E.93.I.8 and corrigenda, A/CONF.151/26 vols. I-III.

Rapport de la Dixième Réunion de la Conférence des Parties de la Convention sur la Diversité Biologique, Nagoya, 18-29 octobre 2010. United Nations Publication, UNEP/CBD/COP/10/27.

Rapport du Sommet Mondial sur le Développement Durable, Johannesburg, 26 Août-4 Septembre 2002. Déclaration de Johannesburg sur le Développement Durable. United Nations Publication, sales no. E.03.II.A.1. A/CONF.199/20.

Reeve, A, Hargroves, K, Desha, C, Bucknum, M & Newman, P 2011, 'Considering the application of biophilic urbanism: a Sustainable Built Environment National Research Centre discussion paper', Curtin University and Queensland University of Technology.

Relyea, R.A., 2005. The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. Ecological Applications 15, 618–627. doi:10.1890/03-5342

Retelny, V.S., Neuendorf, A., Roth, J.L., 2008. Nutrition Protocols for the Prevention of Cardiovascular Disease. Nutrition in Clinical Practice 23, 468–476. doi:10.1177/0884533608323425

Reygrobellet, B., 2007. La nature dans la ville : biodiversité et urbanisme. Journal officiel de la République française, avis et rapports du Conseil économique et social.

Ribeiro, J.W., dos Santos, J.S., Dodonov, P., Martello, F., Niebuhr, B.B., Ribeiro, M.C., 2017. Landscape Corridors (LSCorridors): a new software package for modeling ecological corridors based on landscape patterns and species requirements. Methods in Ecology and Evolution. doi:10.1111/2041-210X.12750

Rosato Jr., J., 2017. New Cameras Reveal Wildlife Above Caldecott Tunnel. NBC Bay Area, Page web [Consultée le 28 mars 2017]. Disponible sur http://www.nbcbayarea.com/news/local/New-Cameras-Reveal-Wildlife-Above-Caldecott-Tunnel-415718283.html?_osource=SocialFlowFB_BAYBrand

Sahney, S., Benton, M.J., 2008. Recovery from the most profound mass extinction of all time. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 275, 759–765. doi:10.1098/rspb.2007.1370

Savard, D., 2010. Séminaire en ligne Design de Collectivité Durable. Ministère de l'Environnement du Canade. Disponible sur http://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/ministeres/egl/environnement/content/design_de_collectivite_durable.html

Schlinkert, H., Ludwig, M., Batáry, P., Holzschuh, A., Kovács-Hostyánszki, A., Tscharntke, T., Fischer, C., 2016. Forest specialist and generalist small mammals in forest edges and hedges. Wildlife Biology 22, 86–94. doi:10.2981/wlb.00176

Second International Conference on Nutrition, Rome, 19-21 November 2014. Conference Outcome Document: Rome Declaration on Nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization. ICN2 2014/2

Sheets, V.L., Manzer, C.D., 1991. Affect, Cognition, and Urban Vegetation Some Effects of Adding Trees Along City Streets. Environment and Behavior 23, 285–304. doi:10.1177/0013916591233002

Shirai, K., Iso, H., Ohira, T., Ikeda, A., Noda, H., Honjo, K., Inoue, M., Tsugane, S., for the Japan Public Health Center-Based Study Group, 2009. Perceived Level of Life Enjoyment and Risks of Cardiovascular Disease Incidence and Mortality: The Japan Public Health Center-Based Study. Circulation 120, 956–963. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.108.834176

Sluijs, J.P. van der, Amaral-Rogers, V., Belzunces, L.P., Lexmond, M.F.I.J.B. van, Bonmatin, J.-M., Chagnon, M., Downs, C.A., Furlan, L., Gibbons, D.W., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreutzweiser, D.P., Krupke, C., Liess, M., Long, E., McField, M., Mineau, P., Mitchell, E. a. D., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Pisa, L., Settele, J., Simon-Delso, N., Stark, J.D., Tapparo, A., Dyck, H.V., Praagh, J. van, Whitehorn, P.R., Wiemers, M., 2015. Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning. Environ Sci Pollut Res 22, 148–154. doi:10.1007/s11356-014-3229-5

Smith, D., D. Stahler, E. Stahler, M. Metz, K. Cassidy, B. Cassidy, and R. McIntyre. 2015. Yellowstone National Park Wolf Project Annual Report 2014. National Park Service, Yellowstone Center for Resources, Yellowstone National Park, WY, USA, YCR-2015-02.

Smithsonian Institution Archives, Accession 92-030, National Forum on BioDiversity, (1986 : Washington, D.C.), Videotapes

Snep, R.P.H., Opdam, P.F.M., Baveco, J.M., WallisDeVries, M.F., Timmermans, W., Kwak, R.G.M., Kuypers, V., 2006. How peri-urban areas can strengthen animal populations within cities: A modeling approach. Biological Conservation 127, 345–355. doi:10.1016/j.biocon.2005.06.034

Sole, R.V., Montoya, J.M., Erwin, D.H., 2002. Recovery after mass extinction: evolutionary assembly in large-scale biosphere dynamics. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 357, 697–707. doi:10.1098/rstb.2001.0987

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C., 2015. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. The Anthropocene Review 2053019614564785. doi:10.1177/2053019614564785

Sternberg, T., Viles, H., Cathersides, A., Edwards, M., 2010. Dust particulate absorption by ivy (Hedera helix L) on historic walls in urban environments. Science of The Total Environment 409, 162–168. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.09.022

Sternberg, T., Viles, H., Cathersides, A., 2011. Evaluating the role of ivy (Hedera helix) in moderating wall surface microclimates and contributing to the bioprotection of historic buildings. Building and Environment 46, 293–297. doi:10.1016/j.buildenv.2010.07.017

Swaddle, J.P., Calos, S.E., 2008. Increased avian diversity is associated with lower incidence of human West Nile infection: observation of the dilution effect. PLoS ONE 3, e2488. doi:10.1371/journal.pone.0002488

Taylor, A.F., Kuo, F.E., Sullivan, W.C., 2001. Coping with add The Surprising Connection to Green Play Settings. Environment and Behavior 33, 54–77. doi:10.1177/00139160121972864

Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M.C., Schwager, M., Jeltsch, F., 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. Journal of Biogeography 31, 79–92. doi:10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x

The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations, 2010. Earthscan, London and Washington.

Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., de Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Townsend Peterson, A., Phillips, O.L., Williams, S.E., 2004. Extinction risk from climate change. Nature 427, 145–148. doi:10.1038/nature02121

Tower Garden, 2017. Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur http://johnmooney.towergarden.com/

Trame Verte et Bleue, 2014. Montpellier : d'un schéma des réseaux verts à la Trame verte et bleue. Centre de ressources, Retours d'expérience. Document disponible sur http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/fiche_experience_montpellier_0.pdf

Ulrich, R.S., 1981. Natural Versus Urban Scenes: Some Psychophysiological Effects. Environment and Behavior 13, 523–556. doi:10.1177/0013916581135001

Ulrich, R., 1984. View through a window may influence recovery from surgery. Science 224, 420–421. doi:10.1126/science.6143402

United Nations Environment Program, 2017. What is Biodiversity? Page web [Consultée le 8 Juin 2017]. Disponible sur http://old.unep-wcmc.org/what-is-biodiversity_50.html

Unesco, 2017. Europe & North America: 287 biosphere reserves in 36 countries Page web [Consultée le 3 mars 2017]. Disponible sur http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/europe-north-america/

United Nations, 2014. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352).

United States Environmental Protection Agency, 2017. Storm Water Management Model (SWMM). Version 5.1.012 with Low Impact Development Controls. Page web [Consultée le 7 juin 2017]. Disponible sur https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm#main-content

University of Alabama, 2017. Biodiversity of Alabama. Page web [Consultée le 1er juin 2017] Disponible sur https://almnh.ua.edu/biodiversity-of-alabama.html

Van den Berg, A.E., Maas, J., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., 2010. Green space as a buffer between stressful life events and health. Soc Sci Med 70, 1203–1210. doi:10.1016/j.socscimed.2010.01.002

Venter, O., Sanderson, E.W., Magrach, A., Allan, J.R., Beher, J., Jones, K.R., Possingham, H.P., Laurance, W.F., Wood, P., Fekete, B.M., Levy, M.A., Watson, J.E.M., 2016. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. Nature Communications 7, 12558. doi:10.1038/ncomms12558

Villaseñor, N.R., Driscoll, D.A., Gibbons, P., Calhoun, A.J.K., Lindenmayer, D.B., 2017. The relative importance of aquatic and terrestrial variables for frogs in an urbanizing landscape: Key insights for sustainable urban development. Landscape and Urban Planning 157, 26–35. doi:10.1016/j.landurbplan.2016.06.006

Ville de Blainville, 2017. Projet « Quartier Chambéry ». Page web [Consultée le 7 mars 2017]. Disponible sur http://blainville.ca/developpement-economique/developpement-residentiel/projet-quartier-chambery/

Ville de Bordeaux, 2017. Végétalisation des rues. Page web [Consultée le 6 juin 2017]. Disponible sur http://www.bordeaux.fr/p88843/vegetalisation-des-rues

Vourc'h, G., Marmet, J., Chassagne, M., Bord, S., Chapuis, J.-L., 2007. Borrelia burgdorferi Sensu Lato in Siberian chipmunks (Tamias sibiricus) introduced in suburban forests in France. Vector Borne Zoonotic Dis. 7, 637–641. doi:10.1089/vbz.2007.0111

Wall, D.H., Nielsen, U.N., Six, J., 2015. Soil biodiversity and human health. Nature 528, 69–76. doi:10.1038/nature15744

Ward Thompson, C., Roe, J., Aspinall, P., Mitchell, R., Clow, A., Miller, D., 2012. More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns. Landscape and Urban Planning 105, 221–229. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.12.015

Ward Thompson, C., Aspinall, P., Roe, J., Robertson, L., Miller, D., 2016. Mitigating Stress and Supporting Health in Deprived Urban Communities: The Importance of Green Space and the Social Environment. International Journal of Environmental Research and Public Health 13, 440. doi:10.3390/ijerph13040440

Wells, N.M., Evans, G.W., 2003. Nearby Nature A Buffer of Life Stress among Rural Children. Environment and Behavior 35, 311–330. doi:10.1177/0013916503035003001

Willig, M.R., Kaufman, D.M., Stevens, R.D., 2003. Latitudinal Gradients of Biodiversity: Pattern, Process, Scale, and Synthesis. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 34, 273–309. doi:10.1146/annurev.ecolsys.34.012103.144032

Wilson, E.O., 1984. Biophilia. Cambridge, Mass. : Harvard University Press, 157p (p9).

World Health Organization, 1997. Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic. Report of a WHO Consultation on Obesity, 3–5 June 1997, Geneva. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2001. WHO/NUT/NCD 98.1

World Health Organization, 2014. Global status report on noncommunicable diseases 2014. Geneva, Switzerland : World Health Organization.

World Health Organization, 2016. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. Geneva, Switzerland : World Health Organization.

World health statistics 2016: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva, Switzerland : World Health Organization.

Yang, J., McBride, J., Zhou, J., Sun, Z., 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. Urban Forestry & Urban Greening 3, 65–78. doi:10.1016/j.ufug.2004.09.001

Young, R.F., 2016. Modernity, postmodernity, and ecological wisdom: Toward a new framework for landscape and urban planning. Landscape and Urban Planning. doi:10.1016/j.landurbplan.2016.04.012

Young, R.F., 2016. The biophilic city and the quest for paradise. Smart and Sustainable Built Environment 5, 25–46. doi:10.1108/SASBE-07-2015-0016

Zhou, Y., 2009. The Modern Significance of Confucianism. Asian Social Science 4. doi:10.5539/ass.v4n11p13