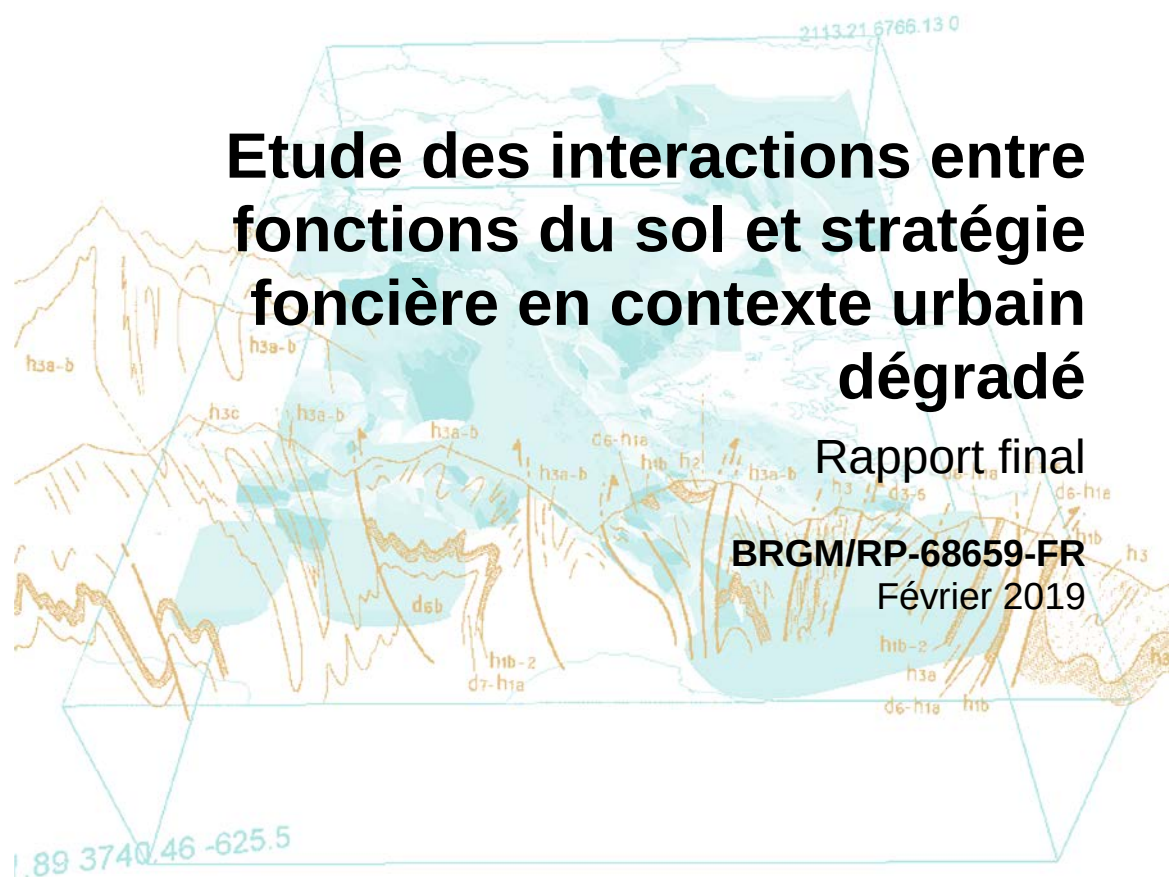


Document public



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Etude des interactions entre fonctions du sol et stratégie foncière en contexte urbain dégradé

Rapport final

BRGM/RP-68659-FR

Février 2019

Étude réalisée dans le cadre de la convention spécifique MEL -
BRGM 2016-2019

D. MONFORT et E. LIMASSET

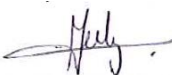
Avec la collaboration de
M. GREMONT, M. BOUZIT et J.R. MOSSMAN

Vérificateur :

Nom : C. Merly

Date : 8/02/2019

Signature :

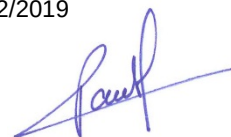


Approbateur :

Nom : P. Pannet

Date : 15/02/2019

Signature :



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés :

Friches, services écosystémiques, sites et sols pollués, Lille Métropole

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Monfort D. et Limasset E. avec la collaboration de Mossmann J.R., Bouzit M. et Gremont M. (2019). Etude des interactions entre fonctions du sol et stratégie foncière en contexte urbain dégradé Rapport final. BRGM/RP-68659-FR. 92 pages, 17 figures, 4 annexes.

Synthèse

En France, la stratégie foncière est approchée le plus souvent du seul point de vue de l'immobilier et ne considère le sol que comme un bien économique ou un support du développement des activités urbaines. Réduit à ces seules dimensions, le foncier est ainsi considéré comme un bien indéfiniment renouvelable, au détriment du sol, qui lui, ne l'est pas. Cependant des collectivités s'intéressent de plus en plus à la qualité des sols, notamment à leurs fonctions et leurs services associés rendus à l'homme, et plus particulièrement lorsqu'elles se préoccupent de réaménager avec la nature en ville.

Face à ce constat, la direction Stratégie et Opérations Foncières, de la Métropole Européenne de Lille (MEL) souhaite mieux communiquer auprès des acteurs publics et privés de son territoire sur l'importance de la prise en compte des fonctions du sol lors de projets de réaménagement, notamment sur les friches urbaines. En effet la non prise en compte ou considération des fonctions du sol peut entraîner selon les usages retenus une perte de certaines fonctions et donc de services associés pour plusieurs décennies. Ainsi l'objet de ce rapport est d'apporter une illustration générique et pédagogique de ces concepts adaptés au milieu urbain, visant à encourager une meilleure compréhension des fonctions du sol et du sous-sol le plus en amont possible, notamment pour les prospecteurs, porteurs de projets, et aménageurs.

Dans un premier temps, une revue a été réalisée sur les concepts dans les études réalisées en France ou à l'étranger sur les fonctions des sols, les services écosystémiques, ainsi que les cadres conceptuels proposés en R&D. Une synthèse des principaux travaux est proposée, dont notamment l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE), qui est le cadre français pour la prise en compte des services écosystémiques.

S'inspirant de cette revue, un récapitulatif des concepts clés les plus appropriés au territoire de la MEL est proposé notamment sur les notions d'écosystèmes urbains, fonctions et services écosystémiques. Un cadre conceptuel est également développé visant à identifier et évaluer de manière qualitative à l'échelle d'une parcelle, les fonctions des sols qui sont mobilisées, pourraient être mobilisées et les services associés.

Le cadre conceptuel encourage une démarche de comparaison entre « l'état zéro » de la parcelle, et « son état reconverti », c'est-à-dire son usage pressenti. La démarche permet d'identifier les nouveaux services rendus par le sol qu'un changement d'usage générerait mais également d'identifier la perte ou la dégradation de services. Cette démarche est alimentée par deux étapes préalables: 1) visite de la parcelle et reconnaissance documentaire pour identifier les fonctions mobilisées du sol en l'état et 2) évaluation qualitative des fonctions et services mobilisés du sol (état zéro et état reconverti). Pour appuyer la visite de site et la consultation documentaire, une grille de repérage est proposée. L'utilisation de cette grille permet une première identification des fonctions existantes et les services mobilisés pour une parcelle vis-à-vis de l'état observé des sols en place et le contexte général du site.

La démarche proposée a été testée sur trois parcelles de deux friches de l'agglomération lilloise. Une des parcelles (A) est une friche agricole avec un sol dégradé ayant été utilisée temporairement pour du stockage de matériaux de constructions. Les deux autres parcelles sont situées sur une friche industrielle, ancienne usine chimique, connue pour une présence avérée de polluants (métaux lourds) dans le sol et la nappe superficielle. Une des parcelles (B1), ancien stade de l'usine est devenue un espace de végétation très dense. La deuxième parcelle (B2), anciennement occupée par des bâtiments de l'usine aujourd'hui démolis a des sols très compactés voire imperméables.

Des scénarios plausibles de reconversion sont proposés pour chaque parcelle, incluant en partie des solutions fondées sur la nature (préservation, amélioration, restauration ou création d'écosystèmes)¹. Les démonstrations d'identification et d'évaluation des services rendus ont été alimentées par des visites de terrain, le recours à des données publiques et accessibles et des échanges avec les agents de la direction Stratégie et Opérations Foncières de la MEL.

L'application de la démarche a permis de comparer des scénarios plausibles de reconversion en montrant un bénéfice potentiel en termes des services rendus par les sols après le changement d'usage (et changement des fonctions du sol).

En particulier, dans le cas de sols fortement dégradés, presque n'importe quelle option de reconversion semble apporter des bénéfices. L'évaluation des services écosystémiques devient alors un critère parmi d'autres pour évaluer quelles solutions seraient les plus vertueuses.

Cependant, cette démarche qualitative rencontre également des limites lorsqu'il s'agit de comparer des solutions. Les fonctions ne sont évaluées que par simple visites de terrain et consultations documentaires. Il n'y a pas de quantification des fonctions ni des services. Ainsi une approche d'évaluation quantitative des services, pourrait être pertinente pour comparer quels scénarios seraient plus avantageuse sur un même site (par exemple par une approche monétaire). Pour aller, dans ce sens, les bénéficiaires ont d'ailleurs été identifiés pour l'ensemble des services hypothétiquement rendus pour chaque scénario de reconversion envisageable. L'approche quantitative n'était cependant pas l'objet de cette étude.

La mobilisation des fonctions des sols étant très liées à la couverture des sols (végétalisés ou non, scellés ou non), idéalement il faudrait raisonner avec des couvertures du sol homogènes, or ce n'était pas le cas de chaque parcelle étudiée. En effet, en milieu urbain, à l'échelle d'une parcelle on s'attend retrouver des couvertures des sols différentes (sols bâtis, voiries de différents types, espaces verts...). Une possibilité de garder cette échelle est de travailler en pourcentage de couvertures du sol

¹ Les Solutions fondées sur la Nature sont définies par l'UICN comme *“les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité”* (WCC-2016-Res-069).

homogènes au sein de la parcelle. A ce stade, il n'est pas possible de descendre à une échelle de travail plus fine, que le parcellaire du cadastre.

Malgré ces limites, la MEL souhaite que cette démarche constitue un premier jalon pour la sensibilisation des acteurs de l'urbanisme à la prise en compte des fonctions des sols dans l'aménagement des sites dégradés.

Cette étude comprend également une revue qui met en avant des cas concrets où des villes européennes ont pris conscience de l'importance des services rendus par la nature en ville, même si les sols et la qualité des sols en milieu urbain sont peu mis en avant par ces exemples. Cependant, elles mettent en avant des éléments d'intérêt pour la démarche proposée pour la MEL, même si l'enjeu des terrains dégradés ou pollués est un sujet secondaire dans ces études.

Sommaire

1. Introduction et objectifs	11
1.1. LA VALEUR DES SOLS.....	11
1.2. OBJET DE CETTE ÉTUDE	13
2. Revue des concepts de fonctions du sol et services associés en appui à l'aménagement urbain	15
2.1. TERMINOLOGIE/CONCEPTS	15
2.1.1. Écosystème.....	15
2.1.2. Écosystème urbain.....	16
2.1.3. Fonction écologique	17
2.1.4. Service écosystémique	17
2.1.5. Bouquet de services.....	18
2.1.6. Bénéficiaire	19
2.1.7. Propriétés des écosystèmes et propriétés des sols	19
2.1.8. Re-fonctionalisation des sols.....	20
2.1.9. Notion de couverture et usage des sols.....	20
2.1.10. Notions de nature en ville	21
2.1.11. Concept des solutions fondées sur la nature	22
2.1.12. Concepts reliant les notions de fonctions écologiques et les services écosystémiques	24
2.2. CLASSIFICATIONS DE SERVICES ECOSYSTÉMIQUES.....	27
2.2.1. Classification du Millennium Ecosystem Assessment (MEA).....	27
2.2.2. Classification du Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)	28
2.2.3. Classification de l'EFESE	29
2.2.4. Services écosystémiques et géo-système (Cleen et al 2016).....	30
2.2.5. Le MAES 2018	31
2.2.6. Classification du projet DESTISOL.....	32
2.2.7. Cadre de Tobias et al. (2018).....	33
2.2.8. Synthèse sur les classifications présentées	34
2.2.9. Vers une évaluation des services	35
3. Définitions et cadre conceptuel proposés en appui à la stratégie foncière de la MEL	37

3.1. ECOSYSTÈME URBAIN	37
3.2. FONCTIONS (ÉCOLOGIQUES ET NON ÉCOLOGIQUES) ASSOCIÉES AU SOL/SOUS SOL : DEFINITION ET CLASSIFICATION.....	37
3.3. SERVICES ECOSYSTÉMIQUES : DEFINITION ET CLASSIFICATION.....	39
3.4. CADRE CONCEPTUEL FONCTIONS DU SOL ET SERVICES EN APPUI À LA STRATÉGIE FONCIÈRE.....	41
4. Mise en œuvre de la « démarche d'identification et d'évaluation fonctions-services ».....	45
4.1. PROPOSITION D'UNE GRILLE DE REPERAGE.....	45
4.2. DEMONSTRATION SUR LE SITE A	46
4.2.1. Identification et évaluation des fonctions existantes des sols sur le site A	47
4.2.2. Identification et évaluation des services rendus à l'état initial	48
4.2.3. Scénarios de reconversion et bénéfices en termes de services.....	49
4.3. DEMONSTRATION SUR LE SITE B	50
4.3.1. Identification et évaluation des fonctions existantes sur le site	52
4.3.2. Identification et évaluation des services.....	54
4.3.3. Scénarios de reconversion et bénéfices en termes de services.....	55
5. Exemples de villes européennes ayant recours aux concepts des solutions basées sur la nature.....	59
5.1. SAN SEBASTIAN - DONOSTIA	60
5.2. VITORIA – GASTEIZ	62
6. Conclusions et perspectives	65
7. Bibliographie	68

Liste des illustrations

Figure 1 : Comparaison des définitions des NBS par Eggermont (2017)	23
Figure 2 : cadre conceptuel de l'EFESE.....	25
Figure 3 : fonctions des sols et services (source FAO 2015).....	26
Figure 4 : Diagramme conceptuel reliant les propriétés clés des sols aux services écosystémiques à travers les fonctions du sol (adapté de Adhikari et al. 2016).....	27

Figure 5 . Classification des services écosystémiques proposée par le MEA (2005).	28
Figure 6 : schéma de la classification des services écosystémiques du CICES dans sa version 5.1. Extrait de Haines-Young et Potschin (2018).	29
Figure 7 : typologie des services écosystémiques et des services géo-systèmes, proposée par de Cleen et al. (2016)	31
Figure 8 : Extrait du tableau récapitulatif des services écosystémiques associés aux sols (sources : Van der Meulen et al. 2018)	32
Figure 9 : affichage des services écosystémiques potentiels pour un catalogue de friches en Suisse, extrait de Tobias et al. (2018).	34
Figure 10 : synthèse des grands types de services écosystémiques selon les travaux cités.	35
Figure 11 Les 4 catégories de fonctions écologiques et non écologiques liées au sol en milieu urbain	38
Figure 12 Les 4 catégories de services écosystémiques liés au sol en milieu urbain	41
Figure 13 : Schéma conceptuel de la démarche proposée, en suivant le vecteur couverture-fonctions-services-bénéficiaires.....	42
Figure 14 : image aérienne du site A. En rouge délimitation approximative du site A.	47
Figure 15 : Localisation du secteur d'étude du site B : B1 à l'est et B2 à l'ouest.	52
Figure 16 : type d'aménagement en passerelle qui évite le contact des visiteurs de la forêt avec les sols. Image de Arcaion.	56
Figure 17 : types de bénéfices des solutions basées sur la nature pour des enjeux climatiques et autres (extrait de Ihobe 2017).	60
Figure 18 : Tableau entre différents types d'interventions de type nature en ville et bénéfices environnementaux associés.	61
Figure 19 : Exemple de fiche d'une intervention de nature en ville réalisée dans la ville de Vitoria-Gasteiz. Extrait de (CEA & Gasteizko Udala 2016).	64

Liste des annexes

Annexe 1 Revue des bénéfices liés à l'aménagement de nature en ville	71
Annexe 2 Classification générale des services écosystémiques et milieux concernés	77
Annexe 3 Evaluations détaillées par site	85

1. Introduction et objectifs

1.1. LA VALEUR DES SOLS

Prise de conscience des sols comme ressource

Au niveau mondial une prise de conscience de la valeur des sols comme ressource, au même titre que l'eau, l'air, les énergies et les ressources minérales, est apparue depuis plusieurs années. Elle s'est concrétisée par des politiques et des « grand projets » nationaux ou transnationaux visant à protéger les sols contre les divers facteurs d'agression: l'imperméabilisation, l'érosion, la perte de biodiversité et la diminution de la fertilité. En effet, la stratégie thématique en faveur de la protection des sols de la Commission Européenne de 2006 souligne la nécessité de protéger les sols en tant qu'élément essentiel du développement durable. Cependant, aucun pays ne semble avoir développé jusqu'ici des objectifs de protection englobant la multifonctionnalité des sols. Suite, à l'échec de la directive cadre en 2006, les sols ne font toujours pas aujourd'hui l'objet au sein de l'Union Européenne de règles exhaustives et cohérentes. La Commission Européenne a cependant publié en 2012 ses « *Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols* »². Au niveau mondial, la notion de protection des fonctions des sols a été intégrée dans le concept de neutralité en termes de dégradation des terres dans le cadre des objectifs de développement durable (ODD), comme convenu par l'Assemblée générale des Nations Unies en 2015.

En France, malgré un engagement fort en matière de préservation de la biodiversité, des milieux et des ressources ainsi que la sauvegarde des services fournis et des usages qui s'y rattachent (Loi biodiversité³), il n'y a pas de législation spécifique sur les sols visant à protéger ou faire valoir l'ensemble des ressources qui y sont associées. Le Plan biodiversité du Ministère de la transition écologique et solidaire⁴, publié en 2018, se fixe plusieurs objectifs en lien avec la nature en ville et la préservation des sols face à l'étalement urbain et l'artificialisation. On en identifie deux avec un fort lien avec les sols et la nature en ville.

- *Dans les espaces urbains (villes moyennes, métropoles, etc.), la nature apporte de nombreux bienfaits et contribue à notre bien-être (lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, amélioration de la qualité de l'air, maintien des sols...). Le Plan biodiversité a pour ambition de faire de la biodiversité une composante clé de la*

² Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne 2012 — 62 p. — 21 x 29,7 cm ISBN 978-92-79-26214-2 doi: 10.2779/79012)

³ Loi pour la reconquête de la biodiversité de la nature et des paysages de 2016 transposée dans le code de l'environnement

⁴ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/plan-biodiversite>

construction de la ville de demain et de l'aménagement durable des territoires ruraux.

- *L'étalement urbain et l'artificialisation des sols, en détruisant et en morcelant les espaces naturels, agricoles et forestiers, contribuent directement à la dégradation du fonctionnement des écosystèmes et à l'érosion de la biodiversité. Les politiques d'urbanisme et d'aménagement commercial seront revues afin d'enrayer l'augmentation des surfaces artificialisées (bâtiments, infrastructures de transports, parkings, terrains de sports...), de favoriser un urbanisme sobre en consommation d'espace et d'améliorer la mise en œuvre de la séquence « éviter – réduire – compenser ».*

Différentes dimensions de la valeur des sols

La stratégie foncière des villes françaises est très souvent approchée du seul point de vue de l'immobilier et ne considère le sol que comme un bien économique ou un support du développement des activités urbaines. Réduit à ces seules dimensions, le foncier est ainsi considéré comme un bien indéfiniment renouvelable, au détriment du sol, qui lui, ne l'est pas.

On constate également des différences de considération entre les sols urbains et les sols agricoles/sols naturels. Les sols agricoles par exemple, font l'objet de préoccupations largement partagées par l'ensemble de la population : à tort ou à raison, la société est de plus en plus sensible aux « alertes » lancées de toutes parts. Les « sols agricoles » portent en eux un « plus » : ils nous permettent de nous alimenter. S'ils perdent ce service, c'est autant de nourriture qui ne pourra pas être produite, et ce concept de « services de production alimentaire » associé aux sols agricoles est généralement bien compris par tous. On observe que l'on tend à définir actuellement la valeur d'une surface de sol urbain selon deux points de vue : un point de vue strictement économique (recherche d'un bénéfice économique), et un point de vue socio-économique (recherche d'une satisfaction sociale et économique, comme fournir de la nourriture ou des aménités à une population, ou sociale seule, comme fournir un cadre de vie harmonieux).

Différence entre foncier et sols urbains

C'est la notion de « fonction attribuée aux sols » qui fait la différence entre la notion de foncier et la notion de sols. Or les sols peuvent en général présenter de nombreuses fonctions, telles que la capacité à supporter des activités humaines (habitat, transport, loisirs...), supporter des cultures (nourriture, prairies, espaces verts...), être un réservoir de ressources naturelles (matériaux, énergie...), conserver la mémoire humaine (archéologie, fossiles...), à accueillir les sépultures, à épurer des eaux, à agir sur le régime hydrique (crues, sécheresses...), stocker du CO₂, à accueillir un réservoir de biodiversité... Toutes ces fonctions rendent des services directement ou indirectement à la société, comme : la nourrir, l'abriter, lui permettre de se déplacer, la préserver des inondations ou des sécheresses, la rafraîchir, lui fournir de l'énergie pour se chauffer, travailler ou créer... La plupart des acteurs économiques ne considèrent en effet le sol que sous l'angle d'une valeur foncière. Longtemps considéré uniquement comme une

surface « support », la société et les pouvoirs politiques sont en train de prendre conscience de la fragilité des sols et de leur rôle clé. Le concept de la « qualité des sols » a ainsi émergé avec un lien fort avec l'usage, et qui peut être traduit comme la capacité d'un sol à réaliser ses fonctions durablement (Baptist et al. 2018).

Demande sociétale et cadre de vie en ville en constante évolution

Aujourd'hui, à la fois pour bénéficier d'un cadre de vie plus agréable, des aménités et des équipements des villes, mais également dans un souci des autorités de recréer une certaine mixité sociale, on souhaite aller vers la densification des espaces déjà urbanisés, tout en réintroduisant la nature en ville. De plus en plus, les attentes se font plus complexes, cherchant des formules permettant de bénéficier à la fois des avantages d'une vie « à la campagne » et ceux d'une vie en milieu urbain. Si Alphonse Allais pouvait écrire « *On devrait construire les villes à la campagne car l'air y est plus pur !* », il semble qu'aujourd'hui on tendrait plutôt à souhaiter mettre la campagne dans les villes.

Ainsi, au sein des villes, il semble que la tendance qui s'exprime n'est plus simplement de disposer de surfaces d'habitation, mais également d'un cadre plus aéré. Et cette tendance pourrait se renforcer avec la quête de circuits d'approvisionnement de plus en plus courts, cherchant à privilégier ou à introduire une agriculture périurbaine, voire même urbaine : au travers de cette tendance on en vient à demander aux sols urbains de mobiliser des fonctions supplémentaires, dont certaines ont disparu ou sont difficiles à reconstituer. Cependant comme le souligne EFESE, « *les politiques de densification de la ville, apportée en réponse à la consommation des sols, sont mises à l'épreuve par cette vision de ville verte, vivable et respirable pour les citoyens, vivante pour la biodiversité, et économiquement attractive* » (EFESE 2018).

1.2. OBJET DE CETTE ÉTUDE

L'objet principal de cette étude est de pouvoir fournir aux décideurs publics et privés du territoire de la Métropole Européenne Lilloise (MEL), des éléments clés leur permettant d'évaluer l'intérêt de prendre en compte les fonctions du sol en milieu urbain, en appui à l'aménagement. L'approche ne se veut pas prescriptive : tout comme pour une évaluation économique, l'évaluation de l'intérêt des services rendus par les différentes fonctions du sol n'est valable que dans un contexte donné et pour un périmètre adapté. Il s'agit plutôt de présenter ici les concepts de la littérature scientifique et les approches déjà mises en place en France ou à l'étranger ainsi que leur degré de maturité pour produire un document de référence permettant l'appropriation des notions faisant consensus.

Le chapitre 2 présente une revue des concepts dans les études réalisées en France ou à l'étranger sur les fonctions des sols, les services écosystémiques, ainsi que les cadres conceptuels proposés en R&D.

Une fiche récapitulative pédagogique des concepts clés les plus appropriés au territoire de la MEL est proposée au chapitre 3. Ces concepts sont issus du chapitre 2 et adaptés

à la stratégie foncière de la MEL et son intérêt de prendre en compte les fonctions du sol.

Reprenant les concepts du chapitre 3, le chapitre 4 présente une démarche d'évaluation qualitative des fonctions et services écosystémiques concernant la reconversion de sols dégradés de l'agglomération lilloise. Des scénarios plausibles de reconversion sont proposés pour chaque site en friche, en évaluant ainsi les nouveaux services écosystémiques que les changements d'usage génèreraient, comme la perte, dégradation, le gain ou l'amélioration de fonctions et services.

Le chapitre 5 met en avant des cas concrets ou des villes européennes ont pris conscience de l'importance des services rendus par la nature en ville.

2. Revue des concepts de fonctions du sol et services associés en appui à l'aménagement urbain

Il est à noter que les travaux, recommandations et conclusions de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) sont souvent repris dans les paragraphes qui suivent. Initiée en 2012 par le ministère en charge de l'environnement, l'EFESE regroupe un ensemble de travaux d'évaluation qui portent sur les écosystèmes et leurs services à différentes échelles. Leur programme vise à sensibiliser les acteurs aux enjeux de la préservation et de l'utilisation durable de la biodiversité et à améliorer le pilotage des politiques en faveur de la reconquête de la biodiversité et leur intégration dans les politiques sectorielles (santé, logement, mobilité, sécurité, etc.).

2.1. TERMINOLOGIE/CONCEPTS

2.1.1. Écosystème

Le glossaire réalisé pour le projet EFESE (MEEM et FRB 2017) met en avant la définition du MEA⁵ qui définit l'écosystème comme « un complexe dynamique de populations végétales, animales et de micro-organismes, associées à leur milieu non-vivant et interagissant en tant qu'unité fonctionnelle ». Par exemple, une forêt, le littoral, un désert, sont des écosystèmes.

Baptist et al. 2018 définit également un écosystème comme constitué de l'assemblage d'organismes vivants interdépendants (la biocénose) et étroitement liés à leur environnement physico-chimique (le biotope ou l'habitat). Le biotope, le milieu géographique caractérisé par des conditions climatiques et physico-chimiques homogènes permet l'existence d'une faune et d'une flore spécifiques dont il constitue l'habitat. Le biotope conditionne ainsi la dynamique et le fonctionnement de l'écosystème (CGDD 2013).

La structure d'un écosystème correspond à la nature des entités biotiques et abiotiques qui le composent et des relations entre ces entités. Cependant, les dimensions des écosystèmes peuvent varier considérablement. Selon l'étude EFESE de 2017 et l'IPCC⁶, l'étendue d'un écosystème peut comprendre de très petites échelles spatiales jusqu'à l'ensemble de la terre. Les frontières physiques de l'écosystème dépendent de l'échelle à laquelle on travaille et du niveau de précision que l'on souhaite atteindre (qui lui-même est en partie tributaire des capacités technologiques). La détermination des limites

⁵ Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (MEA, 2005) www.millenniumassessment.org

⁶ IPCC, Intergovernmental Panel on climate Change, 2007
<https://www.wunderground.com/resources/climate/ipcc2007.asp>

physiques de l'écosystème constitue donc une étape importante lorsque l'on veut adopter une approche par écosystèmes et services écosystémiques.

2.1.2. Écosystème urbain

Plusieurs définitions de l'écosystème urbain ont été identifiées. Elles peuvent être vues comme complémentaires. Parfois on parle d'écosystèmes urbains (au pluriel) de par leur caractère multiple. Par exemple, selon l'UICN⁷ (2013), l'écosystème urbain concerne l'ensemble des zones où des constructions humaines ont été réalisées et où la surface de ces infrastructures est supérieure à celle des zones naturelles présentes dans le périmètre. Il contient l'ensemble des zones construites, les réseaux (routiers, ferroviaires, etc.) mais aussi les espaces verts créés par l'Homme.

Dans le cadre des travaux de l'EFESE⁸, les écosystèmes urbains ont fait l'objet d'une étude spécifique (CGDD 2018). Il y est défini comme un méta-écosystème composé d'une juxtaposition d'écosystèmes élémentaires sur un territoire urbain défini administrativement. Le bâti et l'humain ne font pas partie de l'écosystème urbain. L'EFESE centre son évaluation sur les espaces de nature, même si cela peut être vu comme une limite. L'écosystème urbain se constitue d'espaces très divers dans leurs formes, tailles, leurs degrés de naturalité ou d'artificialité. Les écosystèmes élémentaires constitutifs de ce méta-écosystème urbain incluent notamment les espaces verts, les toitures végétalisées, les forêts urbaines, les friches, les plans d'eau, les aires de loisir, les surfaces imperméabilisées, etc.

D'après l'EFESE, comme aucune définition de la ville ou de l'urbain n'est disponible, sa délimitation géographique doit correspondre à un territoire sur lequel s'exerce une gouvernance administrative (commune, aire urbaine, etc.). Cette délimitation vise à faciliter les échanges avec les décideurs locaux qui raisonnent à des échelles administratives. Toutefois, elle induit de restreindre intellectuellement l'objet d'étude alors même que la ville n'est pas isolée et que l'influence urbaine s'étend largement hors de ses limites physiques (pollution exportée, consommation de ressources importées, etc.). Ils proposent trois niveaux d'échelle : i) l'espace de nature terrestre ou aquatique à l'échelle d'un site, ii) la ville dense, caractérisée par un tissu urbain continu avec des bâtiments/immeubles jointifs et des espaces verts limités, et iii) la ville et son environnement proche, comme un continuum entre le centre-ville, le péri-urbain et les espaces agricoles et naturels proches des agglomérations. Pour délimiter les écosystèmes urbains, l'EFESE propose que des indicateurs tels que la densité de population, l'emploi ou la nature des équipements soient utilisés.

⁷ UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

⁸ Six grands types d'écosystèmes sont définis par l'EFESE : forestiers, agricoles, milieux humides et aquatiques continentaux, milieux marins et littoraux, urbains rocheux et de haute montagne

2.1.3. Fonction écologique

Selon l'EFESE (MEEM et FRB 2017), les fonctions écologiques correspondent à des phénomènes propres à l'écosystème qui résultent de la combinaison de l'état des écosystèmes, des structures et des processus écologiques et qui se déroulent avec ou sans la présence de l'homme. Ce sont notamment des fonctions de base et d'entretien de la fonctionnalité des écosystèmes (cycle des nutriments, formation des sols, production primaire, etc.). La notion de fonction écologique correspond à la dynamique qui soutient la production des biens et services écosystémiques et qui assure le maintien du bon état écologique, physique et chimique des milieux. Parfois ils sont désignés comme des « services de support » ou « services écosystémiques intermédiaires ». Trois grandes catégories de fonctions sont généralement distinguées (Baptist et al. 2018) :

- Les fonctions hydrogéomorphologiques (ex : ralentissement des ruissellements, rétention des sédiments, recharge de nappes, stabilisation des sols etc.);
- Les fonctions biogéochimiques (ex : fonctions épuratoires, séquestration du carbone);
- Les fonctions biologiques (ex : habitats d'espèces, connectivité).

Les travaux de l'EFESE sur les écosystèmes urbains mettent en avant cinq fonctions qui participent au maintien du bon état des écosystèmes couvrant ces catégories: 1) maintien des cycles de vie (eau, azote, carbone), 2) protection des habitats et des ressources génétiques, 3) production primaire de biomasse, 4) décomposition de la matière organique et 5) formation et composition du sol (CGDD 2018).

La caractérisation des fonctions se fait avec des indicateurs permettant de caractériser les propriétés des sols (cf. sous-chapitre 2.1.7).

Plusieurs propositions de classification typologique des fonctions écologiques associées aux sols existent dans la littérature. Certaines de ces définitions utilisent des termes qui les rendent très proches de la notion de service, terme présenté dans le sous-chapitre suivant. Ainsi, l'une des principales difficultés consiste à bien distinguer les fonctions et les services écosystémiques.

2.1.4. Service écosystémique

L'humanité utilise largement la biodiversité pour subvenir à ses besoins, ce qui a conduit à une importante réflexion sur ce qu'on appelle souvent « les services écosystémiques ». Ce concept a émergé lors de l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, une vaste étude conduite de 2000 à 2005, sous l'égide de l'ONU, par près de 1400 scientifiques dans 95 pays (FRB)⁹.

Les services écosystémiques sont reconnus comme les bénéfices que les individus obtiennent directement ou indirectement à partir des écosystèmes et ses fonctions

⁹ FRB: fondation pour la Recherche et la Biodiversité <http://www.fondationbiodiversite.fr>

(Constanze et al 1997 ; MEA 2005 ; Baptist et al. 2018). Pour l'EFESE, le fonctionnement des écosystèmes permet aux sociétés humaines d'en retirer un ensemble d'avantages sous la forme de biens et de services écosystémiques. (MEEM et FRB 2017).

Communément admise, cette définition des services écosystémiques est volontairement anthropocentrée : elle place l'homme au centre de l'analyse et considère qu'un service écosystémique existe dès lors qu'il est utile à l'homme. Si elle favorise une prise de conscience de la contribution des écosystèmes à l'économie et aux sociétés humaines, cette vision utilitariste est toutefois critiquée par certains auteurs qui lui reprochent d'évacuer de fait les contributions sans intérêts pour l'homme, notamment les contributions fonctionnelles des écosystèmes qui profitent pourtant aux systèmes naturels.

Différentes classification des services écosystémiques sont présentées dans le sous-chapitre 2.2.

D'après l'EFESE (2017), il convient de noter que les écosystèmes ne sont pas uniquement sources d'avantages pour les sociétés humaines à travers la production de biens et de services, ils peuvent également être à l'origine de contraintes : présence de pathogènes, de ravageurs des cultures, d'espèces exotiques envahissantes, lixiviation des polluants retenus dans le sol, etc. Tout comme un service écosystémique est défini en rapport à des bénéficiaires, une contrainte est contingente à un ensemble d'acteurs. Pour l'EFESE la notion de « disservice » n'est pas retenue.

2.1.5. Bouquet de services

Raudsepp-Hearne et coll. (2010) définissent les bouquets de services écosystémiques comme un ensemble de services qui sont régulièrement observés ensemble dans le temps et/ou dans l'espace.

Ce groupement de services en bouquets soulève la question de l'interdépendance. D'après Gos (2013), des nombreuses études sur le modèle de l'étude de Costanza (1997) passent par la sommation des services écosystémiques en une 'valeur économique totale' ou une valeur totale de services, ce qui suppose que les services écosystémiques soient équivalents et substituables. Les cadres de recherche reconnaissent que les services écosystémiques ne sont pas indépendants les uns des autres, mais interconnectés dans des 'bouquets de services' (Bennet, Peterson 2009, MEA 2005), définis comme « des patrons de services écosystémiques qui apparaissent de manière répétée dans le temps, l'espace » (adapté de Raudsepp-Hearne 2010).

Cela implique que ces services co-varient dans l'espace et dans le temps et soulèvent des questions soit en matière d'arbitrage (ou compromis) entre services écosystémiques lorsqu'une augmentation d'un service entraîne de façon plus ou moins mécanique une diminution d'un autre service, soit en termes de synergies lorsqu'une augmentation d'un service entraîne de façon plus ou moins mécanique une augmentation d'un autre service.

2.1.6. Bénéficiaire

Le bénéfice est l'augmentation du bien-être induite par la satisfaction d'un besoin ou d'un désir (TEEB, 2010). La notion de service écosystémique « rendu » introduit la notion de bénéficiaire, c'est-à-dire, la personne ou groupe qui bénéficie de ces services.

Les bénéficiaires dépendent ainsi des services écosystémiques qu'on évalue. Dans le cadre des écosystèmes agricoles, l'INRA (Tibi et Therond 2017) propose une distinction assez claire entre un bénéficiaire très direct, cas d'un agriculteur qui bénéficie directement de la production agricole, et des bénéficiaires plus globaux, comme la société qui bénéficie par exemple des effets comme le stockage de carbone dans les sols ou même d'une valeur paysagère de certaines cultures.

Le terme bénéficiaire ouvre la porte à la notion de valeur économique des services. Dans le cadre de cette étude la monétarisation des services n'a pas été envisagée. On citera néanmoins des initiatives comme les paiements pour services environnementaux (PSE), qui sont des instruments incitatifs qui consistent à offrir une rémunération en contrepartie de l'adoption de pratiques favorables à la préservation de l'environnement (Etrillard 2016).

2.1.7. Propriétés des écosystèmes et propriétés des sols

Les propriétés des écosystèmes sont des caractéristiques de leur fonctionnement ou de leur état. Les fonctions écologiques d'un écosystème donné sont gouvernées par des processus et des interactions complexes qui dépendent des propriétés de cet écosystème.

De même que pour les services, la propriété d'un écosystème peut être à l'origine de la réalisation de plusieurs fonctions écologiques et une fonction peut dépendre de plusieurs propriétés. Lorsque le milieu sol est considéré, la capacité d'un sol à réaliser ses fonctions est ainsi intimement lié à ses propriétés physico-chimiques et biologiques. D'après Baptist et al 2018, on peut distinguer d'une part les propriétés inhérentes aux sols, telles que la texture, la minéralogie, la topographie ou la profondeur et qui sont utilisées pour qualifier différents usages du sol. Elles sont constantes à échelle de temps humaine. D'autre part, des paramètres dynamiques peuvent caractériser les propriétés du sol tels que la teneur en matière organique, la disponibilité des nutriments, les activités biologiques, la structure des communautés ou encore la teneur en polluants plus ou moins disponibles. Baptist et al 2018, distingue ainsi ces propriétés en :

- Propriétés intrinsèques et morphologiques : type de sol, texture (% graviers, sable, limon, argile), épaisseur (profondeur du substratum rocheux, facette du sous-sol, etc.), minéralogie, etc. ;
- Propriétés physico-chimiques : pH, fraction organique carbonée, masse volumique, azote totale, etc. ;
- Propriétés hydrique : capacité de rétention d'eau, capacité d'échange de cations, conductivité électrique, porosité du sol et perméabilité de l'air, conductivité hydrique et infiltration ;
- Propriétés biologiques : biotique du sol ...

2.1.8. Re-fonctionalisation des sols

On entend par la re-fonctionalisation d'un sol, le renforcement, le rétablissement ou la création de la fonctionnalité générale ou spécifique du milieu sol, en agissant sur les propriétés du sol attendu. On sous-entend qu'une re-fonctionalisation optimale permet une fourniture optimale de services à rendre attendus.

Une re-fonctionalisation optimale du sol peut être visée par exemple lors de restauration ou réhabilitation écologique de sites dégradés. Dans le cas de projets de réaménagement, les sols en place peuvent être amenés par exemple à être désimperméabilisés, être reconstitués sur place, être éliminés, etc. De nouveaux sols peuvent être construits dans l'espace vacant de sols éliminés. En effet, dans le cas d'une reconstitution de sol, l'objectif est, par un apport unique en quantité importante de produits organiques résiduels au sol en place, de rétablir, autant que faire se peut, certaines fonctions essentielles assurées antérieurement par le sol naturel initial. Une construction de sol, comprend la création d'un nouveau sol assurant un niveau de fonctionnalité élevée (support de végétation, cycle de l'eau et des nutriments, habitat biologique), mais différent en termes de structure et de fonction(s) de l'original.

Dans le cas d'un site à réaménager dont le sol est pollué, posant un risque pour l'usage futur du site, une gestion de la pollution est imposée (principes de la gestion des risques selon l'usage de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, MEEM et FRB 2017). La remise en état du site préconisée par le plan de gestion, reposera sur une gestion de la pollution dans le sol. Les sols peuvent ainsi subir un processus de dépollution in situ conduisant à l'élimination ou la réduction des polluants présents dans le sol, mais qui peut impacter les fonctions initiales du sol, si les techniques de dépollution employées sont assez agressives (oxydation chimique, désorption thermique, etc.).

En conséquence, n'importe quel projet de réaménagement d'un site qui impactera plus ou moins les fonctions initiales du sol en place, permettra de conserver, rétablir ou éventuellement perdre certaines fonctions de ce sol. Dans le cas d'une restauration écologique (au sens large) d'un site dégradé, des nouvelles fonctions peuvent être amenées à être créées.

Ainsi, dans le cadre d'un changement d'usage, un diagnostic initial est primordial pour caractériser les propriétés du sol du site considéré (au même titre que la charge polluante potentielle du sol). Idéalement, l'évaluation des propriétés permettra d'identifier et de quantifier les fonctions des sols qui peuvent être préservées ou dégradées.

2.1.9. Notion de couverture et usage des sols

Les services écosystémiques désignent l'utilisation des écosystèmes par l'homme. De facto les services écosystémiques sont associés à la notion d'usage. Il convient donc de rappeler les définitions d'usage et d'occupation des sols.

La **couverture des sols** (FAO 1998¹⁰) désigne « la couverture biophysique de la surface des terres émergées ». C'est une définition indépendante de l'exploitation qui en est faite par l'homme. Très souvent on trouve le terme « occupation des sols », qui peut induire en erreur. Dans cette étude nous préférons le terme couverture des sols, qui est plus proche du terme anglais « land cover », terme très utilisé en cartographie des sols (par exemple la cartographie Corine Land Cover par exemple).

L'utilisation des sols (en anglais « land use ») est définie par le FAO¹¹ (1997) comme la somme totale des activités et des intrants que les humains entreprennent dans un certain type de couverture terrestre. Le terme d'usage inclut donc la notion d'activité humaine et de flux.

En réalité, les cartographies de la couverture des sols les plus répandues (Corine Land Cover, Urban Atlas) tendent à mélanger les concepts de couverture et d'usage.

Il peut aussi exister des usages du sous-sol, qui exploitent des ressources ou services du sous-sol, sans s'exprimer par une activité en surface. Ce serait l'exemple de l'exploitation de l'eau souterraine ou la géothermie.

La distinction entre couverture et usage est malgré tout importante. D'une certaine manière la couverture est plus en lien avec les fonctions des sols et les usages sont déjà en relation avec les services et bénéficiaires. Ainsi par exemple on parlera de « surface végétalisée – forêt urbaine » pour une couverture, et l'usage sera un « parc ». De la même on parlera de surface « bâtiment » et comme usage on spécifiera « résidentiel ».

2.1.10. Notions de nature en ville

D'après l'EFESE (GCDD 2018), les espaces de nature en ville prennent des formes très diverses selon leurs tailles et leurs degrés de naturalité ou d'artificialisation bois, milieux humides, potagers, jardins privés, squares, arbres d'alignement, toitures végétalisées, etc. Ils correspondent aux écosystèmes urbains élémentaires présentés en 2.1.2. Lorsqu'ils permettent le développement d'espaces de nature (toutes formes confondues), ces derniers apparaissent fragmentés, peu connectés entre eux et avec les trames vertes et bleues périphériques. Le Rapport CGDD 2018 distingue près d'une cinquantaine de types d'écosystèmes au sein de l'écosystème urbain.

Comme le souligne l'étude du CVT Allenvi (2016) le végétal en ville et ses fonctionnalités sont devenus une composante indispensable de l'écoconception mais surtout un élément clé de la ville durable. Cela fait en effet écho notamment aux objectifs plan biodiversité de 2018 cités en introduction. Cette étude met par ailleurs en avant les différents services mobilisés par les espaces de nature en ville pour différents acteurs.

¹⁰ <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/X0596e01e.htm>

¹¹ Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/045.htm

Les services écosystémiques dont les citoyens souhaitent bénéficier pour leur cadre de vie sont principalement des services de régulation et culturels, et éventuellement d'approvisionnement alimentaire. Les collectivités locales sont plus enclines sur les services tels que la production de l'eau, la régulation de la qualité des sols, les services de support de la biodiversité locale, la régulation du climat local et de la qualité de l'air.

La quantité et la qualité des services écosystémiques associés à ces espaces de nature en ville dépendent fortement de la conception de la ville ainsi que de la manière dont sont gérés ces espaces. De plus, de nombreuses menaces pèsent sur le maintien ou l'amélioration de ces services. En effet, des pressions s'exercent sur ces espaces de nature en ville ou en péri-urbain: par exemple l'imperméabilisation des sols en constante augmentation, la fragmentation importante des milieux naturels, les perturbations des habitats, des émissions de polluants vers les milieux, des nuisances sonores, olfactives, lumineuses, ...

2.1.11. Concept des solutions fondées sur la nature

Le concept de solutions fondées sur la nature (SfN) (*nature-based solution* – NBS en anglais) est arrivé à la fin des années 2000 dans un contexte de recherche de solutions pour s'adapter au changement climatique tout en cherchant à protéger la biodiversité et améliorer le bien-être des populations. En 2009, l'UICN¹² a affirmé ce concept et depuis 2010, il a été largement repris, en particulier par la Commission Européenne et depuis 2015 accepté largement par la communauté s'intéressant à la conservation de la biodiversité.

Comme le souligne, Eggermont (2005, 2017), on retrouve différentes définitions des SfN en fonctions des attentes des acteurs et des perspectives (Figure 1). Mais toutes mettent en avant la durabilité et le rôle accru des processus naturels dépendants de la biodiversité, apportant de nombreux bénéfices à l'homme. Pour l'UICN, les SfN sont des actions pour protéger, gérer de manière durable et restaurer les écosystèmes naturels ou modifiés, qui permettent de répondre aux pressions sociétales de manière effective et adaptée, tout en produisant des bénéfices pour le bien être des humains et la biodiversité.

¹² UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature



IUCN definition	European Commission definition
Actions	Living solutions
to protect, sustainably manage and restore	inspired by , continuously supported by and using
natural or modified ecosystems	Nature
that address societal challenges	Designed to address various societal challenges
effectively and adaptively	In a resource efficient and adaptable manner
simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits	And to provide simultaneously economic, social and environmental benefits



Figure 1 : Comparaison des définitions des NBS par Eggermont (2017)

A l'heure actuelle, la plupart des références notamment issues des nations unies sont orientées sur l'intérêt du recours aux SfN pour la gestion de l'eau. Il y a encore peu de référence sur l'intérêt des SfN sur les fonctions et services rendus directement par les sols en milieu urbain notamment.

Le Guide « Aménager avec la nature en ville » (ADEME 2017), met en avant de manière pédagogique les avantages des aménagements de nature (SfN) en ville pour toute une série de services de régulation pour lesquels les sols peuvent être directement ou indirectement impliqués. Une synthèse sur les bénéfices associés à ces SfN est proposée en annexe 1. Les points principaux sont listés ci-dessous mais il est à noter que certains services rendus ne mobilisent pas directement les sols.

- **Maintien de la biodiversité en milieu urbain** si grande variété d'habitats : forêts et parcs urbains, jardins, friches urbaines, squares, cours d'eau, etc.
- **Biosurveillance de la qualité de l'air et des sols** en surveillant la survenue d'impacts liés à la contamination, notamment liée à l'urbanisation, d'un milieu (air, sol, eau, sédiment) sur les organismes vivants¹³.
- **Régulation de la qualité de l'air par la végétation** en place (circulation, filtration absorption de certaines particules atmosphériques et polluants) même si elle peut être une source de polluants et d'allergènes.
- **Régulation de la pollution des sols** urbains par les phytotechnologies : dégradation ou rétention des polluants.
- **Régulation du bruit** par la végétation et par les sols.
- **Régulation des inondations** : les sols perméables et végétalisés facilitent l'infiltration et ralentissent l'écoulement des eaux pluviales.
- **Régulation de la qualité des eaux** : les sols et la végétation facilitent la rétention des matières en suspension des eaux de ruissellement.
- **Régulation du climat local** (lutte contre l'effet îlot de chaleur)
- **Régulation thermique dans les bâtiments**, les espaces verts créent des zones d'ombre.

¹³ Les résultats du Programme BIOindicateurs de la Qualité des Sols ADEME contribuent sur

- **Régulation du climat global** par le stockage/séquestration de carbone dans les sols et dans la végétation.
- **Approvisionnement en aliments.**
- **Nature en ville et attractivité** des espaces urbanisés.
- **Dépense publique et valeur économique.**

La question du coût et des bénéfices des aménagements de la nature en ville est également abordée par le guide ADEME (2017). La nature en ville peut engendrer un surcoût aux finances publiques, selon le mode de gestion de ces espaces naturels, mais également, présenter de nombreux bénéfices (sous la forme de services écosystémiques) qui peuvent être évalués par une monétarisation ou par des méthodes d'impact socio-économique. Les différents services et les arguments qui sont donnés permettent de dresser un premier bilan : la nature en ville présente des bénéfices sur l'ensemble des services identifiés par les auteurs. Sur certains services cela est à nuancer, comme par exemple le stock de carbone qui nécessite une réflexion sur l'ensemble de la durée de vie de l'aménagement et le mode de gestion des espaces verts.

2.1.12. Concepts reliant les notions de fonctions écologiques et les services écosystémiques

Une fonction écologique peut contribuer à plusieurs services écosystémiques et inversement un service peut être issu de plusieurs fonctions écologiques (UICN, 2013). Les fonctions écologiques sont par ailleurs au cœur de la relation entre le capital naturel ¹⁴(stock) et la production de services dont bénéficie la société (flux). Ci-dessous sont présentés différents cadres conceptuels visant à relier les notions de fonctions et de services écosystémiques.

Cadre conceptuel de l'EFESE

EFESE a donné lieu à plusieurs documents, dont un document qui fixe un cadre conceptuel des services écosystémiques en France (MEEM et FRB 2017). Le cadre conceptuel de l'EFESE distingue d'un côté les écosystèmes et la biodiversité, caractérisés par un état de ces écosystèmes et par des fonctions écologiques propres à ces systèmes, et de l'autre côté les sociétés humaines. Les sociétés humaines auraient des valeurs et un objectif de bien-être individuel et collectif. Les sociétés humaines bénéficient d'un patrimoine naturel.

¹⁴ Cette métaphore désigne les stocks de ressources naturelles desquelles peuvent dériver les biens et services dont dépendent les sociétés humaines.

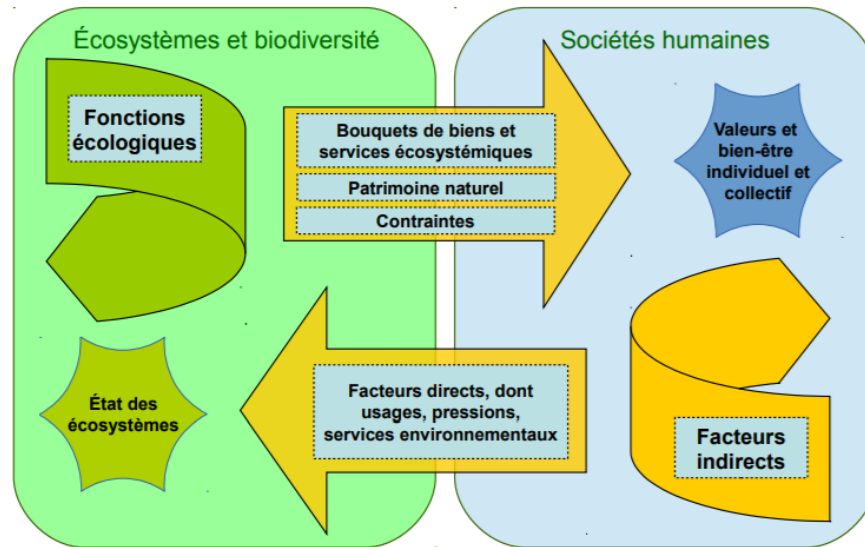


Figure 2 : cadre conceptuel de l'EFESE (MEEM et FRB 2017).

Fonctions et services selon la FAO (2015)

La distinction entre fonctions et services n'est pas toujours très claire lorsque l'on réalise une revue de la littérature scientifique car les termes peuvent être très proches. L'exemple d'illustration en Figure 3, extraite d'une publication de la FAO en 2015, mélange volontairement les notions de services et fonctions mais montre également d'une manière assez visuelle la relation qui existe entre les deux notions.

Dans cette figure on voit aussi apparaître des fonctions qu'on pourrait appeler « géotechniques » et qui provisionnent un service de support d'infrastructures. Ce n'est pas une fonction écologique sensu stricto mais c'est une fonction du sol primordiale en contexte urbain.



Figure 3 : fonctions des sols et services (source FAO 2015).

Cadre Adhikari et al 2016

Adhikari et al. (2016) présentent la relation entre fonctions et services écosystémiques dans une représentation concentrique. Ce diagramme relie les propriétés intrinsèques des sols avec les fonctions écologiques des sols, ceux-ci avec les services écosystémiques et les services avec le bien-être de l'homme.

Cette représentation concentrique introduit un workflow des étapes à prendre en compte dans l'évaluation des services écosystémiques : les propriétés des sols vers les fonctions, vers les services et vers le bien-être de l'homme. Avec certains ajustements, cet angle d'approche est repris par d'autres auteurs pour l'évaluation des services écosystémiques.

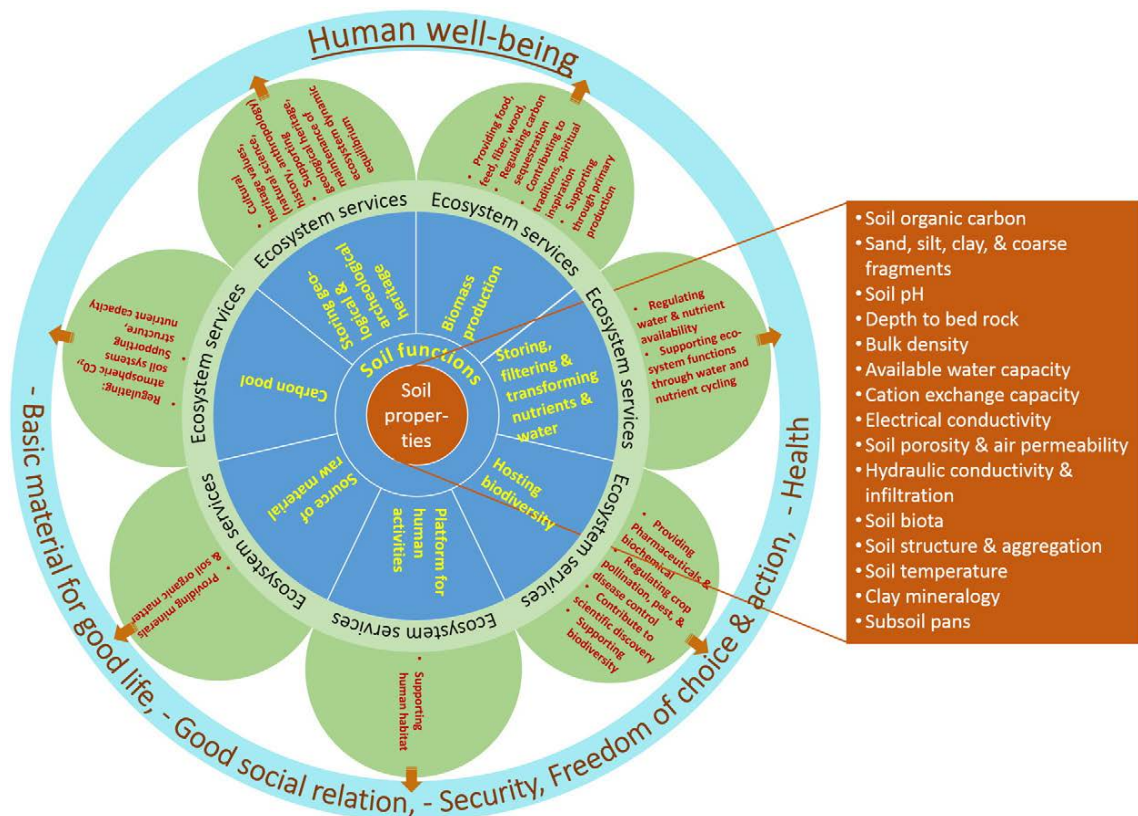


Figure 4 : Diagramme conceptuel reliant les propriétés clés des sols aux services écosystémiques à travers les fonctions du sol (adapté de Adhikari et al. 2016).

2.2. CLASSIFICATIONS DE SERVICES ECOSYSTÉMIQUES

De nombreux auteurs établissent ou proposent des classifications des services écosystémiques, et listent plus ou moins exhaustivement tous les services écosystémiques recensés.

2.2.1. Classification du Millennium Ecosystem Assessment (MEA)

Le MEA a développé en 2005 une classification à visée pédagogique pour sensibiliser les gestionnaires et les décideurs à la nécessité de préserver la biodiversité et les écosystèmes dont elle dépend. Elle distingue quatre grands types de services écosystémiques :

- les **services d'approvisionnement ou de prélèvement** qui conduisent à des biens « appropriables » (aliments, matériaux et fibres, eau douce, bioénergies, ressource génétique, etc.), que ces biens soient autoconsommés, troqués ou mis en marché ;
- les **services de régulation** c'est-à-dire la capacité à moduler (dans un sens favorable à l'homme) des processus physiques comme le climat ou la

pollinisation des plantes, l'occurrence et l'ampleur des maladies ou différents aspects du cycle de l'eau (crues, étiages, qualité physico-chimique), ou à protéger d'événements catastrophiques (cyclones, tsunamis, pluies diluviennes, érosion, etc.). Contrairement aux services d'approvisionnement, ces services sont généralement non appropriables et ont plutôt un statut de bien public ;

- les **services culturels** qui sont des services non-matériels obtenus à partir de l'utilisation des écosystèmes à des fins récréatives, esthétiques et spirituelles, ou éducatives. Ils sont directement liés la façon dont la société perçoit l'écosystème et peuvent être prépondérant pour les écosystèmes urbains ;
- les **services de support ou d'entretien/maintien**, non directement utilisés par l'homme mais qui conditionnent le bon fonctionnement des écosystèmes. Ils incluent notamment la capacité de recyclage des nutriments, la pédogénèse, l'importance de la production primaire comme premier maillon des chaînes alimentaires, la provision d'habitats pour les espèces et le support à la biodiversité, la résistance à l'invasion par des espèces étrangères, etc. Ces services sont garants de l'existence des trois autres catégories de services. Les services de support sont les plus complexes à prendre en compte dans l'approche écosystémique. Par convention, ils ne font pas l'objet de valorisations économiques pour éviter les risques de doubles comptes.

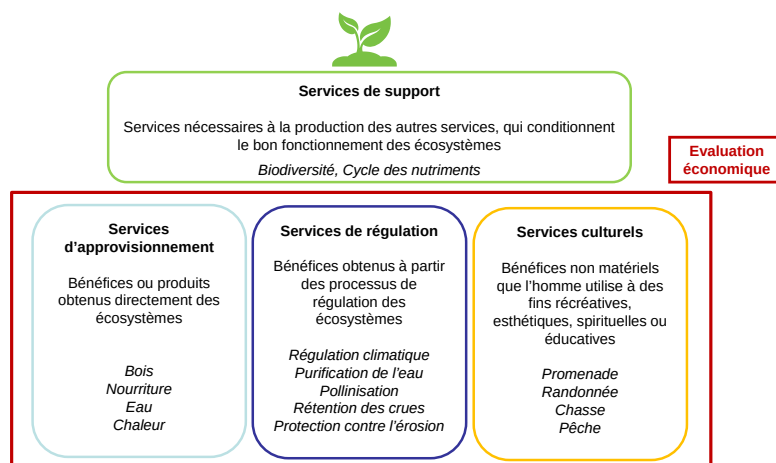


Figure 5 . Classification des services écosystémiques proposée par le MEA (2005).

2.2.2. Classification du Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)

L'Agence Européenne de l'Environnement a lancé en 2009 une consultation sur l'élaboration d'une classification internationale commune des services écosystémiques (CICES), en vue notamment de servir à terme de support pour le développement d'une comptabilité économique et environnementale intégrée. La dernière version de cette classification (V5.1) date de mars 2018.

La version 5.1 de la liste des services écosystémiques du CICES en identifie 72 . Le CICES reprend donc la typologie développée par le MEA, qu'il désagrège, mais en exclut les services de support considérés comme des services intermédiaires. Cinq niveaux de caractérisation des services écosystémiques sont proposés : la section (e.g. service d'approvisionnement biotique), la division (e.g. biomasse), le groupe (e.g. cultures de plantes), la classe (e.g. cultures pour la nutrition), le type de classe (e.g. céréales). La Figure 6 montre un schéma avec cette arborescence avec 5 niveaux.

Le CICES propose trois sections correspondant aux services : approvisionnement, culturels et de régulation/maintenance, qu'elle divise entre biotiques et abiotiques quand il est nécessaire.

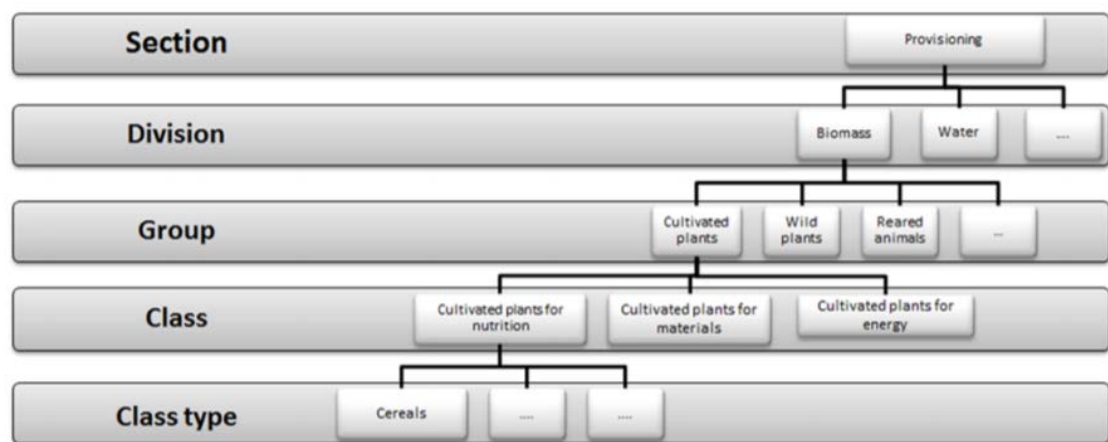


Figure 6 : schéma de la classification des services écosystémiques du CICES dans sa version 5.1. Extrait de Haines-Young et Potschin (2018).

Cette classification du CICES est très exhaustive et beaucoup d'autres classifications tendent à se référer à celle-ci comme document source. Comme toute classification elle fait aussi débat entre experts (Lamarque et al., 2011). Pour certains écologues, parce qu'elle évince la problématique de la biodiversité en la considérant comme un service de support ou intermédiaire qu'il convient de ne pas évaluer, les classifications proposées par le MEA puis le CICES ne sont pas satisfaisantes.

2.2.3. Classification de l'EFESE

L'EFESE (MEEM et FRB 2017), contrairement au MEA et comme le CICES, distingue trois catégories de biens et services :

- Biens produits par les écosystèmes (équivalent aux services d'approvisionnement du CICES) ;
- Services écosystémiques de régulation ;
- Services écosystémiques culturels.

L'EFESE considère en effet les services de support du MEA comme des fonctions écologiques. Par ailleurs, une partie des services culturels (au sens du MEA) n'est plus assimilée à des services écosystémiques. En effet, certains d'entre eux reposant sur le non-usage (identification, legs, altruisme, etc.), la notion de service écosystémique, associée à un usage, n'est plus appropriée. Ils sont par conséquent regroupés dans une catégorie spécifique intitulée « Patrimoine naturel » (Tableau 1).

Tableau 1 : correspondance entre les services écosystémiques de l'EFESE et du MEA 2005.

Typologie de l'EFESE	Typologie du MEA (2005)
Fonctions écologiques	Services de support
Biens produits par les écosystèmes	Services d'approvisionnement
Services écosystémiques de régulation	Services de régulation
Services écosystémiques culturels	Services culturels et spirituels
Patrimoine naturel	

2.2.4. Services écosystémiques et géo-système (Cleen et al 2016)

La typologie de services écosystémiques de Cleen et al. (2016), prend en compte des services écosystémiques qui vont au-delà de la définition agronomique ou pédologique des sols. Elle propose une classification des services associés aux sols (approvisionnement, régulation et culturels) et également des services qui sont associés au sous-sol (géo-système), et qui se décomposent en services de support et services d'approvisionnement (matériaux, énergie fossile ou géothermale).

Soil ecosystem services						Geosystem services			
Provisioning services		Regulating and maintenance services		Cultural services		Supporting services		Provisioning services	
	production of crops		clean and safe soil		archeological value		foundation of buildings		stock minerals
	stock drinking water		soil biodiversity		geological value		Under-ground infrastructure and constructions		stock fossil fuels
	stock groundwater		soil stability		landscape diversity		cables, conduits and sewers		Geothermal energy
			water storage capacity		ecological diversity		transport ducts		
			water filtrating and purifying soil				heat-cold storage		
			soil as carbon sink				storage of substances		

Figure 7 : typologie des services écosystémiques et des services géo-systèmes, proposée par de Cleen et al. (2016) ¹⁵

2.2.5. Le MAES 2018

L'équipe de Soils4EU à la commission Européenne et les contributeurs du « groupe de travail Sol » du MAES¹⁶ ont publié en 2018 une revue la plus exhaustive possible des services écosystémiques associés aux sols (Van der Meulen et al. 2018).

Soils4EU soutient au sein de la direction générale de l'environnement la mise en place de la stratégie thématique sur les sols dans un projet en cours (Soil Thematic Strategy) Le projet MAES porté par la Commission Européenne a l'objectif de cartographier et d'évaluer à l'échelle européenne les écosystèmes et les services écosystémiques associés aux sols (pour n'importe quels écosystèmes pas seulement les écosystèmes urbains).

Le rapport 2018 est un récapitulatif de ces services selon la classification inspirée de plusieurs auteurs selon l'arborescence du CICES. Ils proposent quelques services non proposés à ce jour par le CICES comme par exemple la capacité à supporter des infrastructures et bâtiments. Ils proposent également des indicateurs pour évaluer les services.

¹⁵ <http://www.ruimtexmilieu.nl/wiki/ontwikkelconcepten/lagenbenadering/ondergrondlaag-2>

¹⁶ Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services

Table 3.1: Examples of soil ecosystem services, the functional processes that are required to provide the services and contributing and limiting factors. Table based on MAES Soil pilot, Dominati (2010), Adhikari and Hartemink (2016) and linked to the CICES (5.1) categories.

Ecosystem Service	CICES class	CICES class type	Examples	Functional process(es) + properties	Source info
Provisioning services					
Biochemical and pharmaceuticals (1)	No class provided in CICES (CICES division Materials)	No class type provided in CICES	Penicillin is a soil bacteria.	Biodiverse soil biota could be a source of new pharmaceuticals.	MAES soil pilot, Adhikari and Hartemink (2016), Jeffery et al., 2010.
Food, wood and fibre (1)	Cultivated terrestrial plants (incl. fungi, algae) grown for nutritional purposes or as a source of energy; Fibres and other materials from cultivated plants fungi, algae and bacteria for direct use or processing.	Crops by amount, type	Crops by amount, type, source; material by amount, type, use, media (land, soil)	Structure, water holding capacity and nutrients fertility.	Dominati, 2010, Adhikari and Hartemink, 2016

Figure 8 : Extrait du tableau récapitulatif des services écosystémiques associés aux sols (source : Van der Meulen et al. 2018)

2.2.6. Classification du projet DESTISOL

En France certains projets de recherche se sont penchés sur la question des services écosystémiques en milieu urbain. Ainsi on citera le projet DESTISOL¹⁷ (Blanchart 2018) financé par l'ADEME, qui a proposé une série des services écosystémiques estimés pertinents en milieu urbain. Par exemple des services très spécifiques du milieu urbain comme le « soutien aux activités humaines », le « soutien d'infrastructures » et les « ressources ornementales » apparaissent dans la catégorie approvisionnement.

Tableau 2 : services écosystémiques en milieu urbain du projet DESTISOL.

Catégorie	Service écosystémique	
Régulation	Régulation de la qualité de l'air	
	Régulation du climat	Climat local Climat global
	Régulation des aléas naturels	Inondations Erosion
	Stockage des déchets	
	Purification de l'eau	
	Habitat pour la biodiversité	
Approvisionnement	Aliments	
	Ressources ornementales	Herbacées/fleurs Arbustes Arbres
	Energie	Production de biomasse
	Support physique d'infra/superstructures	Voirie légère
		Voirie lourde
		Bâtiment
		Réseau VRD
	Support d'activités humaines	Activités sensibles et très sensibles (e.g. école, centre de soins, résidentiel)

¹⁷ Projet ADEME (appel GESIPOL) avec comme partenaires l'Université de Lorraine, le CEREMA, l'EPF Bretagne, l'EPAMSA et le bureau d'études SCE.

2.2.7. Cadre de Tobias et al. (2018)

Tobias et al (2018) présentent dans leurs travaux les plus récents une démarche de priorisation du type de réhabilitation des friches en fonction des services écosystémiques potentiels. Ils appliquent la démarche à un inventaire de 59 friches en Suisse.

Ils prennent des indicateurs de type cartographique pour mesurer chacun des services. Ces indicateurs cartographiques sont basés sur des cartographies nationales ou européennes. Ils simplifient « l'approche services écosystémiques » en ne prenant en compte que certains services, par exemple l'approvisionnement est vu uniquement du point de vue de l'agriculture et la régulation du point de vue du cycle de l'eau. Ils distinguent les services suivants :

- Services d'approvisionnement (agriculture)
- Services culturels
 - o Recréation – loisirs
 - o Attractivité touristique
 - o Identité culturelle – paysage
- Services de régulation (eau)
 - o Régulation cycle de l'eau
 - o Contrôle des inondations
- Habitat pour la biodiversité et connectivité
- Transport
 - o Proximité transport en commun
 - o Connexion par autoroute

L'inclusion du « transport », qui n'est pas considéré comme un service écosystémique sensu stricto, joue sur l'attractivité de certaines friches, celles bien connectées deviennent de facto plus attractives.

Le résultat final se montre sous la forme d'un histogramme par friche (Figure 9), la hauteur représente une notation pour chaque catégorie des services. Certaines friches ont des notes très hautes pour tous les services : ce sont des friches très attractives à la reconversion et celle-ci peut se faire aussi bien en parc qu'en zone de culture. En revanche, pour d'autres, une reconversion en agriculture n'est pas très pertinente : soit par des limitations de type climatique soit par fertilité insuffisante. Et pour d'autres la reconversion en parc n'est pas pertinente non plus, l'attractivité de ces espaces étant très limitée.

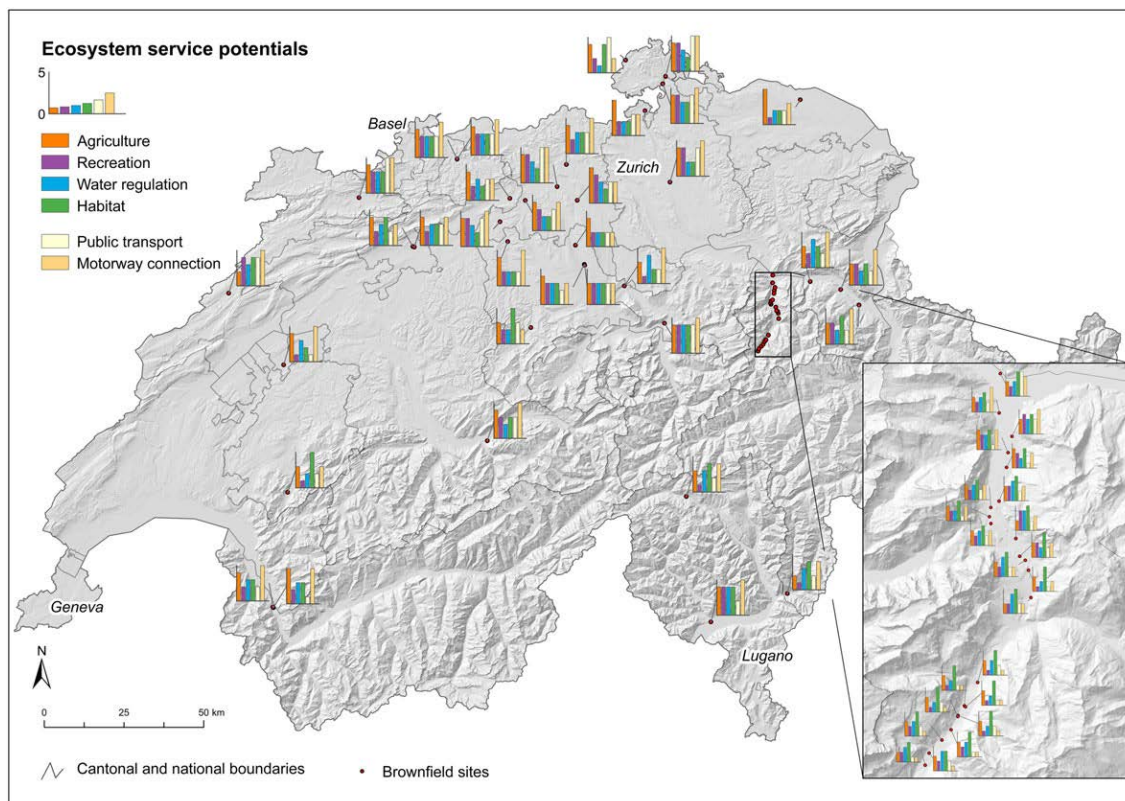


Figure 9 : affichage des services écosystémiques potentiels pour un catalogue de friches en Suisse, extrait de Tobias et al. (2018).

2.2.8. Synthèse sur les classifications présentées

Les grandes familles de services proposées dans les classifications présentées précédemment sont illustrées en Figure 10. On observe que les services d'approvisionnement et régulation sont repris par tous les auteurs, même si certains auteurs en font des distinctions ou des fusions. Les auteurs de DESTISOL (Blanchart 2018) proposent de ne pas inclure une catégorie « services culturels » en contexte urbain. L'EFES distingue le « patrimoine naturel » qui se caractérise par un non-usage (identification, legs, altruisme). Dans cette synthèse il a été considéré que ce service altruiste de patrimoine naturel n'est pas très éloigné de la catégorie « habitat pour la biodiversité » considéré par d'autres auteurs (DESTISOL, Tobias et al. (2018) et la MEA). Le support physique des activités et infrastructures est explicitement identifié par Cleen et al. (2016) comme un type à part et pour DESTISOL fait partie de l'approvisionnement.

Cette synthèse montre bien le caractère évolutif et ouvert de ce type de classifications et également des choix de travail qui réduisent l'ensemble des services à des types plus spécifiques à un écosystème donné (cas de Tobias et al. (2018) et DESTISOL-Blanchart pour le contexte des terrains urbains dégradés).

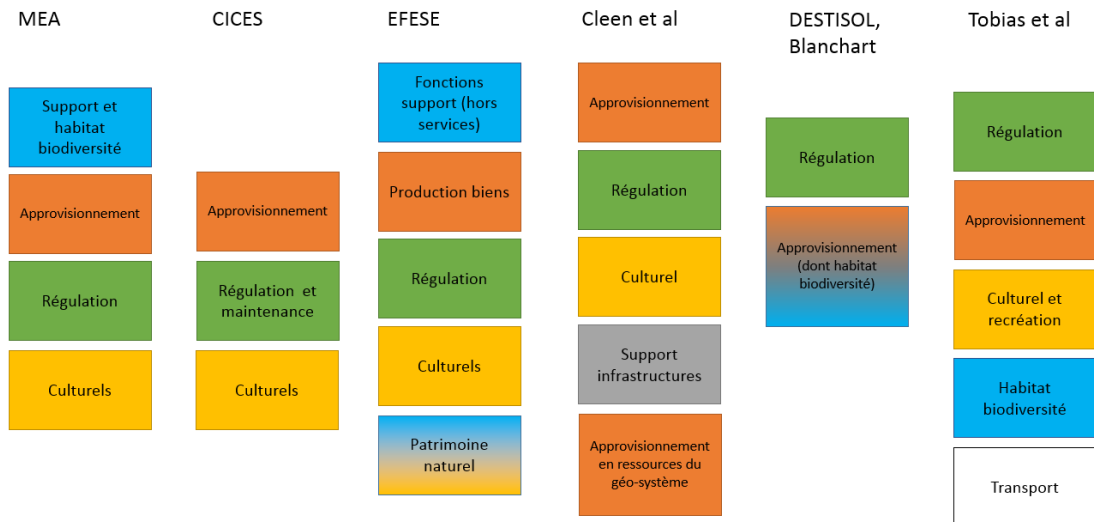


Figure 10 : synthèse des grands types de services écosystémiques selon les travaux cités. En orange les services d'approvisionnement, en vert les services de régulation, en jaune les services culturels, en gris les services de support d'infrastructures et en bleu les fonctions/services de support.

2.2.9. Vers une évaluation des services

Une fois identifiés les services écosystémiques, selon plusieurs classifications, plusieurs auteurs se heurtent à la méthode ou la manière de les évaluer. Comme il a été observé, les services dépendent de l'état des fonctions des sols, et en conséquence seront très dépendants de la couverture et l'usage des sols. En conséquence les évaluations se présentent sous la forme de matrices à double entrées usage versus services ou parfois fonctions versus services.

Morel et al. (2014) proposent une grille d'évaluation semi-quantitative des services écosystémiques en milieu urbain pour 4 types de couvertures du sol : un sol scellé, une décharge, un sol végétalisé construit et un sol végétalisé pseudo-naturel. L'évaluation se fait selon une échelle entre 0 (service nul pour un usage du sol donné) et +++ (service très mobilisé pour un usage donné). Cette grille est une des premières bases de travail pour une hiérarchisation des services selon des usages. Les travaux du MAES (2018) vont aussi vers une évaluation des services et proposent des indicateurs pour les évaluer ainsi comme les sources de données pour mener cette évaluation.

L'étape suivante qui peut être considérée est la monétarisation des services écosystémiques. Si la monétarisation des services d'approvisionnement peut paraître relativement simple, celle des services culturels nécessite le recours à des méthodes plus complexes (par exemple, questionnaire soumis à la population (Blanchart et al. 2017)). Dans tous les cas la monétarisation des services a été exclue du périmètre de cette étude.

Tableau 3 : évaluation semi-quantitative des services écosystémiques proposée par Morel et al. (2014).

Services écosystémiques		Végétalisé Pseudo- naturel	Végétalisé Transformé/ construit	Décharge	Scellé
Approvisionnement	Nourriture	++	++	(+)	0
	Biomasse non alimentaire	++	++(+)	++	0
	Réservoir de minéraux	+	+	+++	0
	Eau douce	0	+	0	+++
	Stockage de l'eau	++	+++	++	+
Régulation	Contrôle des inondations et du ruissellement	+++	++(+)	+	+(+)
	Atténuation de la pollution	++	+++	++	+++
	Climat global	+++	++	++	+
	Climat local	+++	++	+	0
	Biodiversité	+++	+++	++	0
	Purification de l'air	+++	++	+	0
	Contrôle du bruit	++	+++	++	+
Culturel	Récréation/tourisme	+++	++	0	0
	Héritage de l'histoire humaine	+	+	+++	++
	Paysage	++	+++	+	+
	Education	+++	+++	++	+

3. Définitions et cadre conceptuel proposés en appui à la stratégie foncière de la MEL

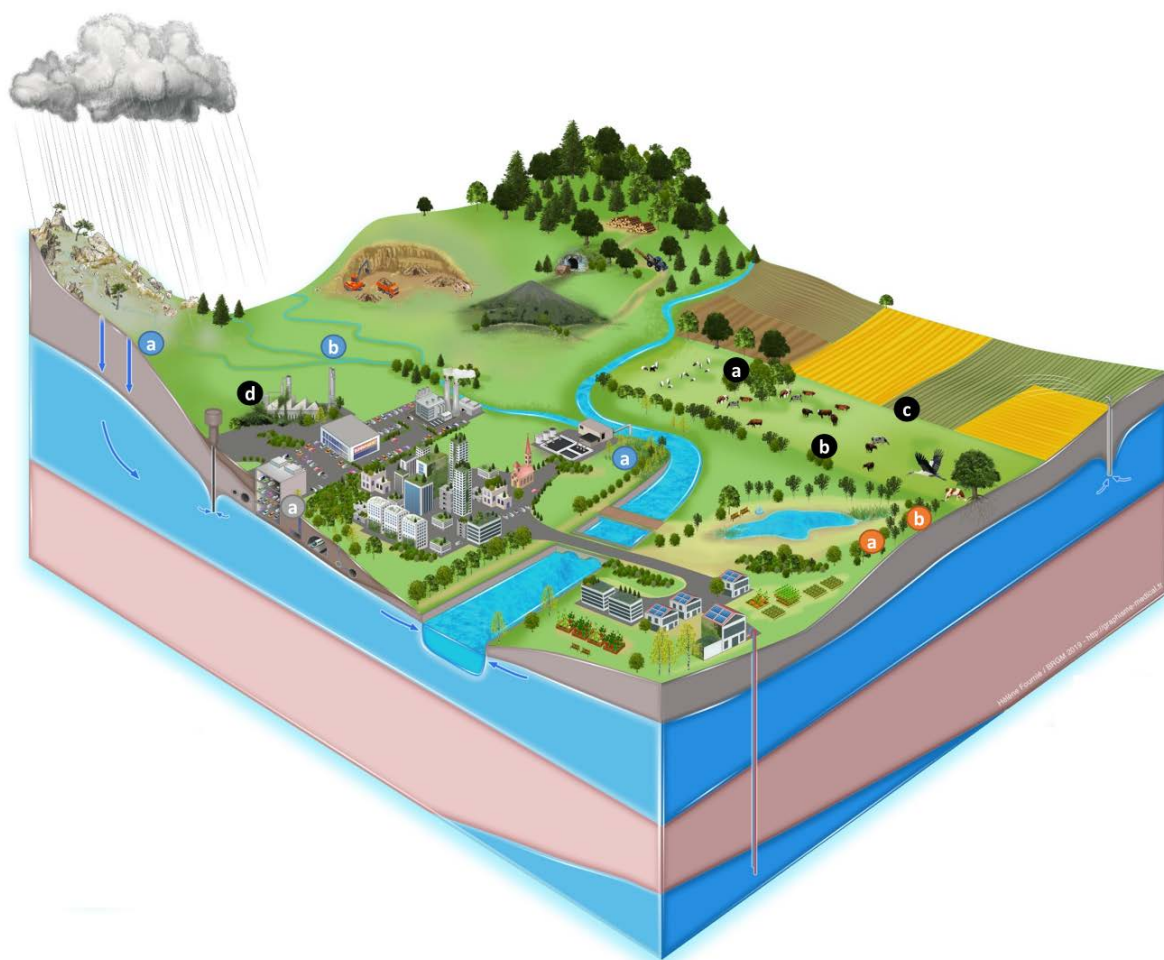
3.1. ECOSYSTÈME URBAIN

La définition de l'écosystème donnée par l'UICN (incluant le bâti et les formes de nature) et les recommandations de l'EFESE sur les échelles d'étude sont retenues pour le l'évaluation des fonctions et services rendus par les sols en contexte de reconversion de terrains urbains dégradés et d'appui à une stratégie foncière. Dans le cadre de cette étude, il est proposé d'identifier les fonctions mobilisées à l'échelle d'une parcelle, ce qui correspond au premier niveau d'échelle proposé par l'EFESE. Evidemment, une parcelle pourra comprendre plusieurs types de bâtis, voiries, espaces de nature terrestre ou aquatique, et des disparités dans la couverture des sols. La mobilisation des fonctions des sols étant très liées à la couverture des sols (végétalisés ou non, scellés ou non), idéalement il faudrait raisonner en couvertures du sol homogènes. Comme il n'est pas envisagé pour l'instant de descendre à une échelle d'étude plus fine que la parcelle, il est proposé de travailler en pourcentage de couvertures du sol homogènes au sein d'une parcelle. Cette parcelle peut être alors considérée comme un écosystème urbain à part entière constitué d'espaces très divers.

3.2. FONCTIONS (ÉCOLOGIQUES ET NON ÉCOLOGIQUES) ASSOCIÉES AU SOL/SOUS SOL : DEFINITION ET CLASSIFICATION

Une classification des fonctions selon 4 grandes catégories est proposée (Figure 11) lors de développement de l'approche d'évaluation des fonctions, inspirée par des classifications des fonctions écologiques (par ex. de Baptist et al. 2018) et celle des services du sous-sol de Cleen et al. (2016). La quatrième n'est pas une fonction écologique sensu stricto mais il est proposé de la prendre en compte en contexte de réaménagement urbain.

- Fonctions hydrogéomorphologiques : ensemble de fonctions liées avec le cycle de l'eau (rétention, infiltration de l'eau, ralentissement du ruissellement, stabilisation contre l'érosion).
- Fonctions biogéochimiques : séquestration du carbone, recyclage de la matière organique, fertilité, élimination de polluants, rétention de particules.
- Fonctions biologiques : habitats, connectivité écologique.
- Fonctions géotechniques ou support des activités humaines.



Fonctions hydro-géo-morphologiques

Infiltration et rétention

(a)

Stabilisation contre l'érosion

(b)

Ralentissement de l'écoulement

(c)

Fonctions biogéochimiques

Séquestration du carbone

(a)

Recyclage de la matière organique

(b)

Fertilité

(c)

Élimination, rétention ou dégradation de polluants

(d)

Fonctions biologiques

Habitat

(a)

Connectivité écologique

(b)

Fonctions géotechniques

Support physique

(a)

Figure 11 : Les 4 catégories de fonctions écologiques et non écologiques liées au sol en milieu urbain.

3.3. SERVICES ECOSYSTÉMIQUES : DEFINITION ET CLASSIFICATION

S'inspirant en partie de l'EFESE et de CICES (voir 2.2), une première classification générique de services écosystémiques ou plus généralement de « services rendus » applicable au contexte urbain comprenant quatre grandes catégories est proposée : régulation et maintenance, approvisionnement, finalités culturelles, et support (voir Annexe 2). Les services « support de biodiversité » et « support géotechniques ou support de bâti » ont été proposés dans la catégorie des services support. Cette classification générique met en avant l'ensemble des services et les milieux qui contribuent à rendre un service.

Les services rendus impliquant les sols ont été ensuite sélectionnés selon leur pertinence par rapport au milieu urbain. Une deuxième classification est ainsi proposée, celle-ci adaptée aux sols urbains et aux services les plus importants qui peuvent être rendus et liés à la présence de ces sols (Tableau 4). A partir du recensement de la littérature sur les services typiques rendus par les écosystèmes liés aux sols en milieu urbain (Blanchart 2018, CGDD2018, ADEME 2017 ; CVT Allenvi 2016), certains services proposés par la classification CICES ne sont pas forcément à prendre en compte en premier lieu. Ainsi les services types qui pourraient être produits sur le territoire de la MEL sont cités dans le Tableau 4 et, classés selon les trois grandes catégories de services.

Cette classification et liste de services rendus sont proposés comme un premier périmètre d'analyse de services produits par des écosystèmes et en lien avec le sol notamment en milieu urbain (hors villes littorales qui peuvent avoir d'autres services en lien avec le milieu marin). Cette liste de service fusionne par ailleurs plusieurs types de services plus détaillés et identifiés par le CICES. Le support physique de bâtiments et infrastructures qui ne sont pas proposés par le CICES et certains auteurs les traitent comme un type à part ici sont proposés dans la catégorie des services d'approvisionnement, comme le fait aussi Blanchart (2018).

Pour chacun des services listés, les principaux groupes de bénéficiaires sont identifiés :

- **Les exploitants ou occupants des parcelles** : par exemple des agriculteurs qui produisent de la biomasse alimentaire.
- **Les riverains**, s'intéressent à leur cadre de vie et donc aux services associés à ce cadre. Ils peuvent bénéficier de certains services de par leur proximité à un parc par exemple. Dans ce cas, ils peuvent bénéficier du service culturel – loisir et récréatif associé à ce site. Des visiteurs occasionnels ou des **touristes** peuvent être considérés comme bénéficiaires potentiels temporaires des services dont bénéficient les riverains.
- **La collectivité**, en tant que garant d'une série de services publics s'intéresse plus particulièrement aux services de régulation. Par exemple une collectivité doit assurer la gestion des eaux pluviales qui est associée en partie au service de régulation du cycle de l'eau.
- **La société** ou le monde dans son ensemble sont considérés comme bénéficiaire de « services dont le bénéfice est global ». Par exemple le stockage de carbone

dans les sols et la lutte contre le changement climatique bénéficient théoriquement à la société.

Tableau 4 : services rendus en lien avec les sols proposés pour l'étude.

Famille de services	Services	Principaux groupes de bénéficiaires
Services de régulation	Protection contre les inondations	Riverains et collectivité
	Protection contre l'érosion	
	Régulation du climat local	Riverains et collectivité
	Régulation du climat global	Monde
	Qualité de l'eau et des sols	Exploitant, riverains et collectivité
Services d'approvisionnement	En aliments	Exploitants et consommateurs selon bassin de consommation
	En biomasse non alimentaire (bois, chauffage, textile)	Exploitants et consommateurs selon bassin de consommation
	Stock et approvisionnement d'eau potable	Exploitants, riverains et collectivité
	En énergie (non biomasse)	Exploitants et consommateurs
	Support physique bâtiment et infrastructures	Exploitants ou occupants
Services culturels	Paysage et esthétique	Riverains et visiteurs
	Loisir et récréatif	Exploitants, riverains et visiteurs
	Préservation patrimoine naturel et architectural	Riverains, visiteurs, collectivité et monde

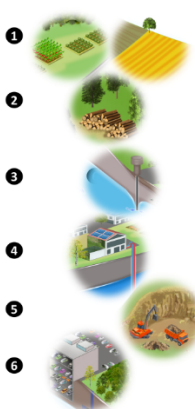
Services de régulation

Protection contre les inondations
Protection contre l'érosion
Régulation du climat global
Régulation du climat local
Qualité de l'eau et des sols



Services d'approvisionnement

En aliments
En biomasse non alimentaire
En eau potable
En énergie
En ressources minérales
En support physique



Services culturels

Paysage et esthétique
Loisir et récréatif
Préservation du patrimoine naturel et architectural



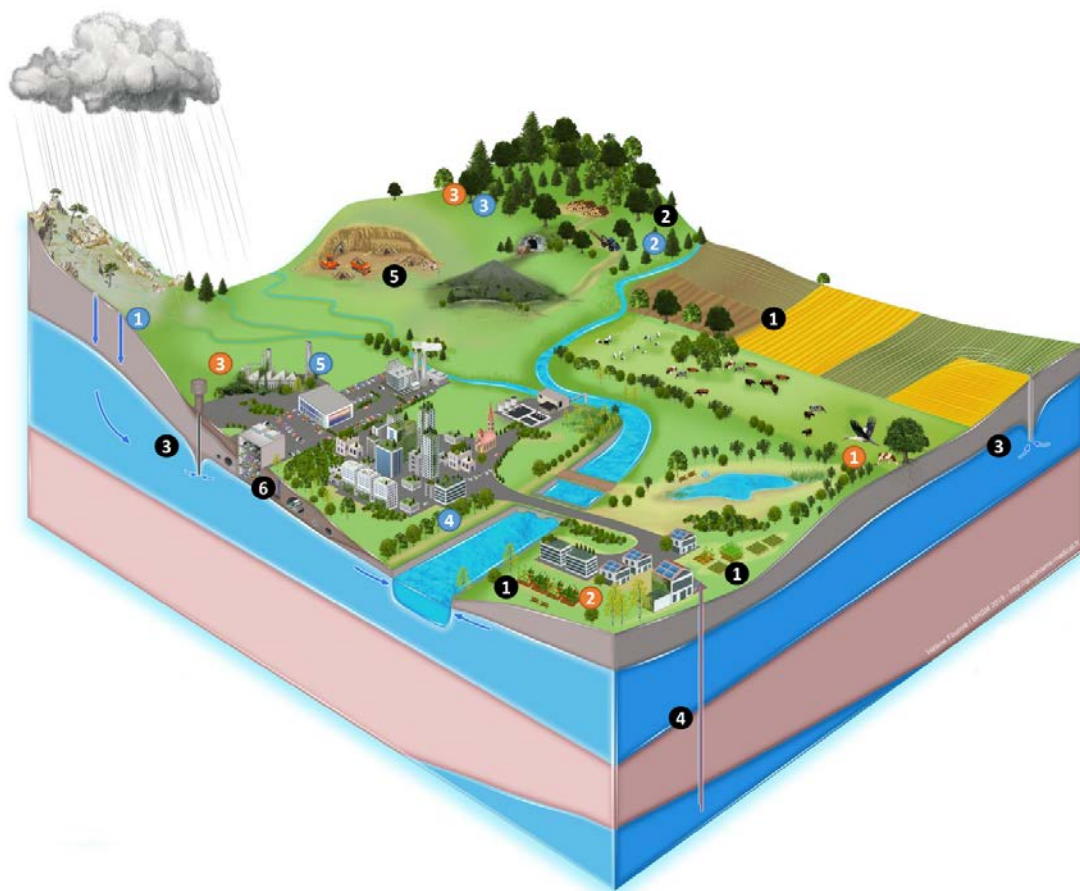


Figure 12 : Les 3 catégories de services rendus par le sol et le sous-sol en milieu urbain.

3.4. CADRE CONCEPTUEL DES FONCTIONS DU SOL ET DES SERVICES EN APPUI À LA STRATÉGIE FONCIÈRE

Afin de mettre en avant les interactions entre fonctions du sol et une stratégie foncière, la démarche proposée en appui à la MEL est de raisonner en « delta », c'est-à-dire, d'évaluer les variations entre l'état initial des sites et leur environnement et les possibilités de reconversion. Ces variations s'appliquent à quatre grandes items de la démarche : la couverture des sols et les usages, les fonctions existantes des sols (telles que proposés en 3.3), les services écosystémiques mobilisés (tels que proposés en 3.3 tableau 4, avec un focus sur le milieu sol) et les bénéficiaires associés.

Dans le cadre d'une reconversion d'un site dégradé, Il y aura à priori un changement de la couverture et/ou l'usage des sols. Cette reconversion consiste en travaux de différentes natures comme évoqué en 2.1.8 pouvant conduire à un impact sur les fonctions du sol : désimperméabilisation, dépollution in situ, reconstitution d'un sol, élimination puis construction de sols, conditionnement géotechnique... Ces travaux peuvent engendrer une amélioration de certaines fonctions, un maintien de certaines et

une dégradation d'autres. Le changement d'usage d'un site, induisant la variation possible des fonctions du sol initial, implique également que les services écosystémiques qui dépendent des capacités du sol à avoir certaines fonctions, varient. En général ils suivent la même tendance que les fonctions, c'est-à-dire, si les fonctions s'améliorent les services mobilisés sont plus nombreux et d'une plus grande importance. Cela dit, on peut identifier des changements d'usage qui mobilisent plus des services sans pour autant faire varier les fonctions. Ce serait par exemple le cas d'un bâtiment à l'abandon sur une friche qui devient un centre actif d'artistes de rue.

La Figure 13 présente le cadre de la démarche proposée, et met en avant le vecteur à suivre pour une évaluation des fonctions mobilisées et services rendus lors d'un changement d'usage de site: couverture/usages et propriétés → fonctions → services rendus → bénéficiaires. On distingue entre les fonctions ou les services existants à l'état initial du site et ceux qui seraient mobilisés par le nouvel usage.

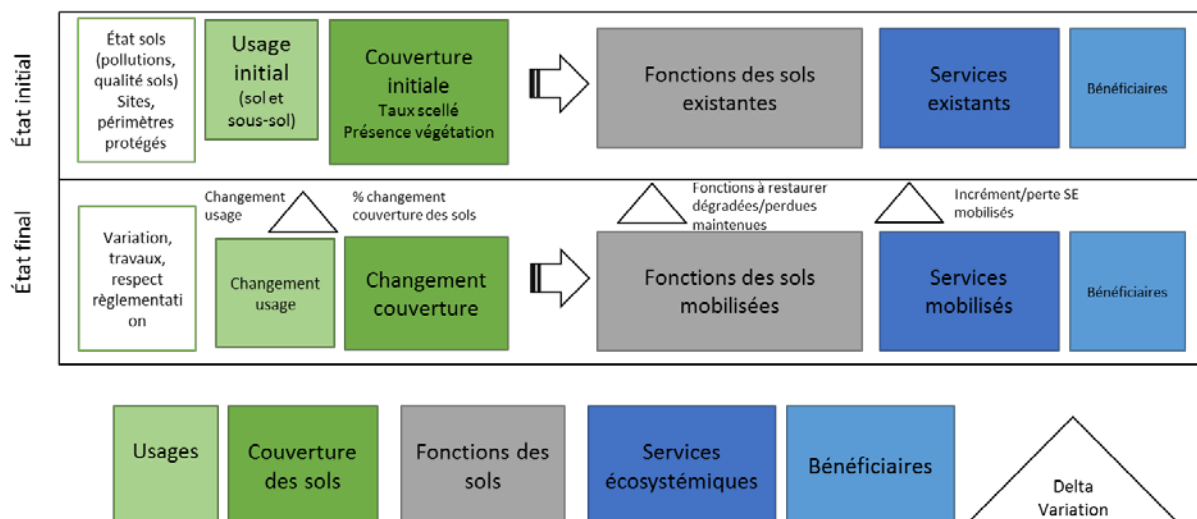


Figure 13 : Schéma conceptuel de la démarche proposée, en suivant le vecteur couverture-fonctions-services-bénéficiaires.

Comme il a été mentionné précédemment, il peut y avoir une confusion entre la notion de fonction et service. Dans le cadre de cette étude, nous clarifions notre interprétation de leurs différences dans le Tableau 5. Les relations entre fonctions et services peuvent être du type corrélation positive ou négative (cf. notion de disservice évoquée dans le sous-chapitre 2.1.4). Dans l'exemple du Tableau 5, ces relations sont positives, c'est-à-dire, plus grande est une fonction plus grand est le service rendu. Mais par exemple dans le cas de polluants présents dans le sol (zone non saturée), un potentiel disservice serait une mobilisation de ces polluants (par effet de lixiviation) et une migration vers la nappe sous-jacente (zone saturée).

Les usages et la couverture des sols influencent les fonctions des sols. Une activité en surface peut dégrader une fonction : par exemple l'imperméabilisation d'un sol pour

construire un parking dégrade la fonction du sol « circulation et infiltration de l'eau ». Il s'agit d'une fonction qui dépend du type de couverture du sol. Il existe aussi des fonctions qui ne dépendent pas de la couverture du sol.

Des éléments exogènes à l'écosystème urbain considéré, comme un polluant entrant en contact avec le milieu sol d'une parcelle, peut dégrader les fonctions et ainsi impacter sur les usages actuels et envisageables de ces milieux en termes de compatibilité de l'état du sol avec ces usages (voir principes de la gestion des risques selon l'usage de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués)

Le Tableau 6 montre des exemples de relation entre usage initial d'un sol, l'usage final envisagé et les fonctions des sols à restaurer ou rétablir.

Tableau 5 : Exemple de relations entre fonctions d'un sol et services rendus par ce sol.

Fonction(s) des sols	Service
Circulation et infiltration de l'eau Rétention physique des polluants	+ Approvisionnement en eau souterraine potable (mais possibilité de mobilisation des polluants présents dans le sol vers la nappe)
Fertilité physico-chimique des sols Recyclage de la MO	+ Production biomasse alimentaire
Circulation et infiltration de l'eau	+ Régulation des inondations

Tableau 6 : Exemples de fonctions d'un sol à rétablir, prenant en compte leur état initial et l'usage final souhaité sur le site associé à ce sol.

Etat initial	Usage souhaité	final	Fonctions à rétablir / (actions proposées)
Sol scellé (dalles)	Espace ornemental	vert	Rétablir une fertilité des sols et les fonctions support de la biodiversité / (desceller le sol → Circulation et infiltration de l'eau)
Sol végétalisé sur une friche	Culture de biomasse non alimentaire		Rétablir une fertilité des sols apte/adaptée à la culture souhaitée / (construction ou reconstitution de sols et génie végétal)
Sol à base de remblais, qualité géotechnique médiocre	Fondations bâtiment		S'assurer d'établir une fonction support géotechnique des sols / (proposer des fondations plus profondes, conditionnement des sols)
Sol végétalisé pollué aux hydrocarbures	Parc (fréquentation)		En fonction de l'impact sur les fonctions initiales du sol vis-à-vis des techniques de dépollution : rétablir la fertilité des sols en place / (reconstituer le sol, construire un nouveau sol si les terres sont excavées, ...) Note : la dépollution in situ peut reposer sur les capacités du sol en place à dégrader les polluants (fonctions biogéochimiques), mais peut aussi déranger des fonctions biologiques

4. Mise en œuvre de la « démarche d'identification et d'évaluation fonctions-services »

La démarche de la prise en compte des fonctions des sols et des services associés a été appliquée sur deux friches du territoire de la MEL. Le premier site est une friche agricole en zone péri-urbaine à Marcq-en-Barœul, nommée par la suite « site A », et le deuxième site correspond à plusieurs parcelles d'une friche industrielle - ancienne usine chimique à Saint-André et Marquette-lez-Lille, nommé par la suite « site B ».

La mise en application de la démarche sur chaque site a reposé dans un premier temps, sur une visite de site et consultation documentaire, permettant d'identifier les fonctions et les services, puis d'une phase d'évaluation selon l'approche « couverture-fonctions-services-bénéficiaires » présentée en 3.4.

4.1. PROPOSITION D'UNE GRILLE DE REPERAGE

Pour appuyer la visite de site et la consultation documentaire, une grille de repérage est proposée. Elle permet d'identifier la présumée présence ou existence de certaines fonctions. Cette grille est renseignée à la fois avec des éléments observés sur site et des compléments extraits à partir d'une analyse documentaire. Elle a été utilisée pour tester l'application de la démarche proposée aux sites considérés. Elle a également pour objectif d'être un outil de repérage des fonctions pour les agents de la MEL qui font des visites de friches sur le territoire en appui de la stratégie foncière.

L'objectif de cette grille n'est pas de se substituer aux grilles existantes telle que la grille type utilisée en appui d'une visite de site pour réaliser une étude historique et documentaire selon la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (MEEM 2017).

Cette grille ne permet pas non plus d'évaluer automatiquement toutes les fonctions présentes ou leur qualité (par exemple leur niveau de dégradation). Elle permet de se poser de bonnes questions et les structurer dans un document de synthèse afin d'évaluer la capacité du sol en place à réaliser ses fonctions.

Tableau 7 : grille de repérage avec les principaux éléments à prendre en compte.

	Analyse documentaire	Éléments à repérer in situ
Environnement du site		Accessibilité Relation avec les parcelles voisines
Historique du site	Anciennes cartes ou images aériennes Basias, Basol, SIS	
Topographie et gestion des eaux de surface	Cartes topo IGN, MNT	Pente générale du site Présence de mares/flaques/traces d'humidité Exutoires des eaux de ruissellement
Sols et couverture	Urban Atlas, Corine Land Cover	% sol scellé (et type) % sol végétalisé sur la parcelle Type sol (sableux, argileux, couleur)
Eaux souterraines	BD Lisa, BSS Eau, Infoterre, Aires Alimentation Captages	Piézométrie (si possible) Présence de puisards, bétoires ou cavités
Pollutions, déchets et matériaux d'apport	Pollutions des sols : Basias (potentielle), Basol (avérée, dépollution ?)	Présence de déchets ou tout matériaux exogène
Végétation	Corine Land Cover	Type de végétation (herbacée, arbustes, arbres) Présence de cultures Variété des espèces Espèces envahissantes
Faune		Traces ou Présence de faune dans le sol (escargots, vers de terre) et hors sol
Espaces verts proches	Carte de la trame verte et bleue Corine Land Cover	Espaces verts du même type à proximité
Patrimoine architectural, archéologique et naturel. Esthétisme	Sites protégés : monumentum.fr	Présence de bâtiments, de ruines Évaluation subjective du esthétisme du site

4.2. DEMONSTRATION SUR LE SITE A

Le site A se situe à proximité d'un centre sportif dans la localité de Marcq-en-Barœul. Actuellement c'est une friche agricole, résultat de l'abandon des terres agricoles, sans aucun usage. Le site a été occupé temporairement par des machines lourdes et comme entrepôt de matériaux issus de la construction du centre sportif. Depuis le site est resté en l'état. Une visite de site a été réalisée le 28 septembre 2018 (voir photographies prises lors de la visite en annexe 3). La grille de repérage a été utilisée afin de pouvoir identifier les fonctions existantes du site et les services associés et ensuite de proposer d'évaluer des « deltas » de fonctions et de services pour différentes options de reconversion avec changement d'usage.



Figure 14 : image aérienne du site A. En rouge délimitation approximative du site A.

4.2.1. Identification et évaluation des fonctions existantes des sols sur le site A

Le Tableau 8 présente une évaluation qualitative des fonctions existantes ou dégradées des sols présents sur le site A. Elle est alimentée par la visite de site, le travail de reconnaissance documentaire et la réflexion des auteurs de ce rapport et des agents de la MEL impliqués. En annexe 4, ce tableau est repris sous une forme plus détaillée.

Tableau 8 : Evaluations des fonctions des sols présentes sur le site A.

Famille de fonctions	Fonctions	État de la fonction sur le site
Fonctions hydro-géo-morphologiques	Ralentissement des eaux de ruissellement	Fonctions existantes non dégradées
	Stabilisation des sols	
	Rétention des écoulements	
	Recharge des nappes	Fonction non présente (configuration hydrogéologique)
Fonctions biochimiques	Soutien d'étiage	Non considéré pour le site
	Restauration ou maintien de la matière organique	Fonction existante mais avec un besoin d'un diagnostic complémentaire

	Rétention, transformation et élimination des polluants	Sans présence connue de polluants (à investiguer)
	Séquestration de carbone	Fonction existante
Fonctions biologiques	Habitat d'espèces	Fonction existante
	Connectivité	Fonction existante
		Proximité d'autres espaces verts (bocage et agricole).
Fonctions géotechniques	Support géotechnique	Fonction dégradée
		Présence de gravats et des remblais.

4.2.2. Identification et évaluation des services rendus à l'état initial

A partir de la liste des services rendus possibles proposés en 3.3 (Tableau 6), une évaluation qualitative des services rendus en lien avec les fonctions identifiées précédemment est présentée dans les tableaux ci-dessous. Les services existants de manière significative sont surlignés en vert.

Tableau 9 : Services existants - site A.

Famille de services	Services écosystémiques	Description	Bénéficiaires
Services de régulation	Protection contre les inondations	La configuration du site permet un ralentissement de l'écoulement des eaux de ruissellement, la parcelle recueille les eaux de ruissellement de la parcelle vers son point au plus bas (flaque)	Riverains et collectivité
	Protection contre l'érosion		
	Régulation du climat local	La zone ne présente pas une vraie problématique d'îlot de chaleur.	/
	Régulation du climat global	La séquestration de carbone par la végétation et les sols peut contribuer à la réduction de carbone dans l'atmosphère. L'utilisation (ou la non-utilisation) de la parcelle (friche) n'émet pas de CO2	Monde
	Qualité de l'eau et des sols	Difficile à estimer en absence d'information sur la présence de polluants dans les sols/eaux de surface ou souterraines. La topographie du site ne devrait pas encourager le ruissellement vers des eaux de surface. Le sol en surface a été compacté par l'occupation temporaire durant les travaux	/
Services d'approvisionnement	En aliments	Non	/
	En biomasse non alimentaire (bois, chauffage, textile)	Non	
	Stock et approvisionnement d'eau potable	Infiltration probable vers les eaux souterraines sous-jacente mais nappe non exploitée en AEP	
	En énergie	Non	
	Support physique et bâtiment et infrastructures	Non	

Services culturels	Paysage et esthétique	Très limité, esthétique liée à la présence d'une portion de bocage en périphérie	Passants, visiteurs
	Loisir et récréatif	Site occupé temporairement comme urinoir sauvage	Passants, visiteurs
	Préservation patrimoine naturel et architectural	Non	

4.2.3. Scénarios de reconversion et bénéfices en termes de services

Pour la parcelle du site A, trois scénarios de reconversion sont proposés, i) laisser la nature pousser sur le site, avec une évolution progressive vers une prairie-bocage, ii) chercher à retrouver l'état initial du sol avant les travaux qui l'ont dégradé et revenir vers une parcelle avec un usage agricole, iii) construction d'une zone tertiaire (bureaux) avec une surface de stationnement et un espace vert. Ces scénarios sont nommés option 1 à 3 respectivement. Une évaluation des services rendus par les sols pour chacune des options est présentée dans les tableaux ci-dessous. Les couleurs mettent en avant des changements : en vert les services pour lesquels il y aurait une amélioration, en orange ceux avec une amélioration ponctuelle mais une perte globale et en rouge ceux avec une perte ou une dégradation. Les bénéficiaires et principaux bénéfices obtenus pour les options 2 et 3 sont présentées en Tableau 11. L'option 1 ne représente pas un changement de services et de bénéficiaires (cf. tableau 9).

Tableau 10 : Evaluation qualitative du delta des services selon 3 options - Site A.

Famille de services	Services écosystémiques	Option 1	Option 2	Option 3
Services de régulation	Protection contre les inondations	Maintien des services existants	Maintien	Plus de surfaces scellées, dégradation du service
	Protection contre l'érosion		Selon le type de culture, si sols nus en hiver le risque d'érosion augmente.	/
	Régulation du climat local	Absence d'une vraie problématique d'îlot de chaleur		Les espaces verts de la zone peuvent jouer un rôle positif, mais perte globale d'espaces verts
	Régulation du climat global	Maintien des services existants ou amélioration si de plus en plus végétalisé	À moduler selon le mode de gestion de la parcelle agricole et la durée d'exploitation.	Perte de surface végétalisée et selon mode de gestion des espaces verts.
	Qualité de l'eau et des sols	Maintien des services existants	Amélioration de la qualité des sols (fertilité), à nuancer selon le mode d'agriculture et	Perte de surface perméable

			les entrants (nitrates, phytosanitaires)	
Services d'approvisionnement	En aliments	/	Oui	/
	En biomasse non alimentaire (bois, chauffage, textile)	/	Selon la culture, sous-produits (ex. paille)	/
	Stock et approvisionnement d'eau potable	/	/	/
	En énergie	/	/	/
	Support physique et bâtiment et infrastructures	/	/	Support bâtiments et VRD de la zone d'activité
Services culturels	Paysage et esthétique	Lié à la récupération d'un paysage « bocage »	Esthétisme d'un paysage agricole	Lié à l' esthétisme de la ZA et les espaces verts
	Loisir et récréatif	/	/	Espaces verts de la ZA potentiellement utilisés comme espace de loisir
	Préservation patrimoine naturel et architectural	Récupération paysage bocage. Plus d'espèces animales et végétales	/	/

Tableau 11 : Bénéficiaires et principaux bénéfices obtenus selon les deux options de reconversion de la friche du site A.

Type de bénéficiaire	Option 2	Option 3
Propriétaires, occupants, exploitants	Production agricole	Support des bâtiments, valeur foncière. Les espaces verts vont apporter des services de régulation (par ex. le climat local) aux occupants
Riverains Visiteurs / touristes	Valeur paysagère des cultures pour les riverains et les visiteurs du centre de sport	Esthétisme des espaces verts pour les riverains et visiteurs du centre de sport /
Collectivité / MEL	Limitation de l'étalement urbain → régulation des inondations, etc.	Attractivité du secteur
Société / monde	Selon le mode de culture, stockage de carbone → régulation du climat global	/

4.3. DEMONSTRATION SUR LE SITE B

Le site B est une friche industrielle qui comprend des terrains d'une ancienne usine chimique, située à cheval entre les communes de La Madeleine, Saint-André et Marquette-lez-Lille. L'usine était située en rive droite de la Deûle et à proximité des anciens moulins de Paris.

L'usine a été démantelée et une partie des terrains a été dépollués ou vont l'être prochainement d'après BASOL¹⁸. La société « Portes de l'Abbaye » compte faire un aménagement de la zone en tertiaire avec en plus des logements sur les parcelles de la friche au sud du site étudié (enquête publique en cours en 2018¹⁹).

Au vu de la taille du site et les grandes disparités de la couverture des sols à l'heure actuelle, il a été décidé de scinder la friche en 2 sous-sites pour lesquels sont évalués les fonctions et les services associés.

Un site B1 couvre les terrains de l'ancien stade de l'usine recouverts actuellement par de la végétation. Le deuxième site B2 concerne les terrains à l'ouest du terrain de sport, une partie occupée anciennement par des bâtiments de l'usine, démolis actuellement. Cette partie du site est couverte par une surface d'enrobé. La terminologie de BASOL pour se référer à cette partie du site de l'ancienne usine est « secteur organique » ou « secteur TDI ». Une vue aérienne mettant en avant les sites B1 et B2 en l'état actuel est proposée en annexe 3. Une visite de site a été réalisée le 30 septembre 2018 (photographies de la visite en annexe 3). La grille de repérage a été utilisée afin de pouvoir conduire l'évaluation des fonctions existantes du site, l'évaluation des services associés et ensuite proposer d'évaluer des « deltas de fonctions et de services » pour différentes options de reconversion avec changement d'usage.

La Figure 15 montre la localisation du périmètre du site, l'abbaye, la partie de l'ancien stade et la forêt urbaine et la partie du secteur organique de l'ancienne usine.

¹⁸ https://basol.developpement-durable.gouv.fr/fiche.php?page=1&index_sp=59.0004

¹⁹ <http://www.villesaintandre.fr/Actualites/Evenement/Projet-Portes-de-l-Abbaye>



Figure 15 : Localisation du secteur d'étude du site B : B1 à l'est et B2 à l'ouest.

4.3.1. Identification et évaluation des fonctions existantes sur le site

Les Tableau 13 et Tableau 12 présentent une évaluation qualitative des fonctions existantes ou dégradées des sols présents sur le site. Elle est alimentée par la visite de visite, le travail de reconnaissance documentaire et la réflexion des auteurs du rapport et des agents de la MEL impliqués. En annexe 4, les tableaux sont repris sous une forme plus détaillée.

Le site B1 autour de l'ancien terrain de sport présente des fonctions a priori satisfaisantes pour assurer de nombreux services. La présence d'un espace vert assez chaotique, dans le sens où la végétation s'est développée sans contrôle ou volonté de l'homme, permet d'atteindre un nombre de fonctions de sols importantes notamment vis-à-vis de la présence de grandes surfaces perméables. Le développement de cet îlot vert est aussi signe d'une certaine fertilité de ces sols. La présence avérée de polluants (métaux) dans les remblais pourrait éventuellement bénéficier d'une pythoremédiation en fonction des usages futurs attendus de ce site. Ainsi, il s'agit d'un site où les fonctions des sols seraient plutôt à préserver afin de pouvoir assurer une gamme importante de services.

Pour le site B2 très peu de fonctions du sol sont mobilisées: les sols sont pour la plupart scellés ce qui a un fort impact négatif sur les fonctions liées au cycle de l'eau, les sols sont d'une qualité pédologique médiocre comme témoigne le peu de végétation

présente. Il s'agit donc d'un site où beaucoup de fonctions seraient à restaurer pour qu'ils contribuent à de nouveaux services. De plus, les terrains sont des remblais et de vestiges des anciennes fondations des bâtiments de l'usine chimique.

Tableau 12 : Evaluations des fonctions des sols présentes du site B1.

Famille de fonctions	Fonctions	État de la fonction sur le site
Fonctions hydro-géo-morphologiques	Ralentissement des eaux de ruissellement	Fonctions existantes
	Stabilisation des sols	
	Rétention des écoulements	
	Recharge des nappes	Fonction existante (mais la nappe est polluée)
	Soutien d'étiage	Fonction existante
Fonctions biochimiques	Restauration ou maintien de la MO	Fonction existante Besoin diagnostic complémentaire fertilité/pédologie
	Rétention, transformation et élimination des polluants	Fonction existante Présence de plusieurs polluants (métaux) dans les sols.
	Séquestration de carbone	Fonction existante
Fonctions biologiques	Habitat d'espèces	Fonction existante Variété d'espèces végétales.
	Connectivité	Fonction existante Proximité cours d'eau et autres espaces verts
Fonctions géotechniques	Support géotechnique	Fonction dégradée Anciens remblais

Tableau 13 : Evaluations des fonctions des sols présentes du site B2.

Famille de fonctions	Fonctions	État de la fonction sur le site
Fonctions hydro-géo-morphologiques	Ralentissement des eaux de ruissellement	Fonction dégradée Sols scellés
	Stabilisation des sols	
	Rétention des écoulements	
	Recharge des nappes	Fonction dégradée par les sols scellés (la nappe est polluée)
	Soutien d'étiage	Fonction avec peu d'importance sur cette partie du site
Fonctions biochimiques	Restauration ou maintien de la MO	Fonction dégradée
	Rétention, transformation et élimination des polluants	Fonction dégradée Site pollué mais les sols sont scellés et peu végétalisés
	Séquestration de carbone	Fonction dégradée par les sols scellés et peu végétalisés
Fonctions biologiques	Habitat d'espèces	Fonction dégradée
	Connectivité	Fonction inexistante
Fonctions géotechniques	Support géotechnique	Fonction dégradée Anciens remblais, anciennes fondations

4.3.2. Identification et évaluation des services

A partir de la liste des services rendus possibles proposés en 3.3 (Tableau 6), une évaluation qualitative des services rendus en lien avec les fonctions identifiées précédemment est présentée dans les tableaux ci-dessous. Les services existants de manière significative actuellement sont surlignés en vert.

Tableau 14 : services écosystémiques existants du site B1.

Famille de services	Services écosystémiques	Description	Bénéficiaires
Services de régulation	Protection contre les inondations	La configuration du site permet un ralentissement de l'écoulement des eaux de ruissellement et une infiltration dans la nappe. La nappe superficielle peut agir en tant que soutien à l'étiage de la Deûle	Riverains et collectivité
	Protection contre l'érosion		
	Régulation du climat local	La forêt permet un rafraîchissement du climat local et lutte contre l'effet d'îlot de chaleur en ville	
	Régulation du climat global	La séquestration de carbone par la végétation et les sols peut contribuer à la réduction de carbone dans l'atmosphère. Le mode de gestion actuel de la parcelle (friche) n'émet pas de CO2	Monde
	Qualité de l'eau et des sols	Les sols du site ont une pollution en métaux lourds. Possibilité de rétention des polluants par la végétation.	Riverains et collectivité
Services d'approvisionnement	En aliments	Non	/
	En biomasse alimentaire (bois, chauffage, textile)	Non	
	Stock et approvisionnement d'eau potable	Infiltration vers une nappe superficielle polluée, non exploitée en AEP	
	En énergie	Non	
	Support physique bâtiment et infrastructures	Très peu de bâtiments sur le site, l'entrée à l'ancien stade	
Services culturels	Paysage et esthétique	Point de vue depuis le pont sur la Deûle avec vue sur la forêt et les Grands Moulins	Riverains
	Loisir et récréatif	Non, site fermé	/
	Préservation patrimoine naturel et architectural	Site à proximité de la Deûle et de la trame bleue. Poche de biodiversité. Porte de l'ancien stade en Art Déco	

Tableau 15 : services écosystémiques mobilisés ou non du site B2.

Famille de services	Services écosystémiques	Description
Services de régulation	Protection contre les inondations	Surfaces plutôt scellées, qui ne permettent pas une régulation du cycle de l'eau.
	Protection contre l'érosion	
	Régulation du climat local	Non, présence de végétation trop éparse
	Régulation du climat global	Présence d'une végétation trop résiduelle
	Qualité de l'eau et des sols	Sols pollués par métaux lourds.
Services d'approvisionnement	En aliments	Non
	En biomasse non alimentaire (bois, chauffage, textile)	Non
	Stock et approvisionnement d'eau potable	Infiltration vers une nappe superficielle polluée, non exploitée en AEP
	En énergie	Non
	Support physique bâtiment et infrastructures	Très peu de bâtiments sur le site, uniquement l'ancienne entrée du site
Services culturels	Paysage et esthétique	Sans intérêt
	Loisir et récréatif	Non, site fermé
	Préservation patrimoine naturel et architectural	Ancienne abbaye (bâtiment inscrit)

4.3.3. Scénarios de reconversion et bénéfices en termes de services

Pour le site B1 il est proposé un scénario de reconversion : le maintien de la forêt urbaine qui s'est développée avec un accès au public limité par des passerelles. Ces passages surélevés permettent d'éviter tout contact des visiteurs avec les sols pollués par des métaux lourds.

Ce type d'aménagement permettrait de maintenir l'ensemble des services qui existent déjà mais avec la création de cet espace procurant loisir/détente, il permet le développement des services de type « culturel ». C'est une option de reconversion optimale en termes de services parce que le scénario ne dégrade pas les fonctions existantes. La faisabilité de cet aménagement est bien sûr à nuancer en fonction des caractéristiques de la pollution et de l'exposition à éviter des futurs usagers du parc vis à vis du sol s'il n'est pas dépollué.

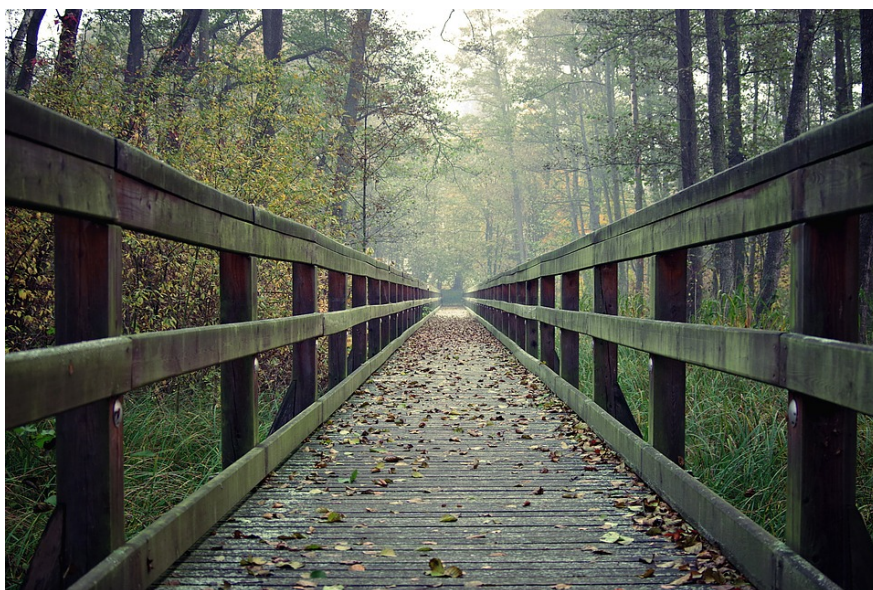


Figure 16 : type d'aménagement en passerelle qui évite le contact des visiteurs de la forêt avec les sols. Image de Arcaion. ²⁰

Sur le secteur B2, la zone couverte par des sols scellés, un scénario de reconversion est proposé. Il est plus classique que celui de B1. Il repose sur l'aménagement de bâtiments (résidentiel et tertiaire), et des espaces verts. Ce scénario est inspiré par un projet de réaménagement en cours au sud du site étudié.

Une évaluation des services rendus par les sols pour chaque scénario envisagé est présentée dans les tableaux ci-dessous. Les couleurs mettent en avant des changements : en vert les services pour lesquelles il y aurait une amélioration, en orange ceux avec une amélioration ponctuelle mais une perte globale et en rouge ceux avec une perte ou une dégradation. Les bénéficiaires et principaux bénéfices obtenus pour les scénarios du site B1 et de B2 sont présentées dans le Tableau 16.

On constate que les deux aménagements permettent une amélioration des services mobilisés. Pour le site B1, l'aménagement de la partie végétalisée permet gagner un service de type « culturel ». Pour le site B2, étant données les fonctions initiales assez dégradées des sols, toute reconversion devrait vers une amélioration des services. Pour des sites similaires dont le contexte initial est similaire à celui du site B1, il serait encore plus pertinent d'appliquer une évaluation qualitative des services sur plusieurs options d'aménagement assez contrastées.

²⁰ <https://pixabay.com/fr/pont-long-en-bois-passerelle-rampe-3000312/>

Tableau 16 : variations des services écosystémiques avec les scénarios de reconversion proposés pour le site B1 et B2.

Famille de services	Services écosystémiques	B1: reconversion en parc	B2 : résidentiel + tertiaire
Services de régulation	Protection contre les inondations	Maintien des services existants	Plus d'espaces verts et perméables qu'actuellement
	Protection contre l'érosion		/
	Régulation du climat local		Espaces verts entre les bâtiments
	Régulation du climat global		La surface verte du site va augmenter par rapport à l'état actuel.
	Qualité de l'eau et des sols	Maintien des services. Suivi des pollutions dans les sols	Dépollution et apport des terres de l'extérieur. Amélioration de la qualité des sols
Services d'approvisionnement	En aliments	/	/
	En biomasse non alimentaire (bois, chauffage, textile)		
	Stock et approvisionnement d'eau potable		
	En énergie		
	Support physique bâtiment et infrastructures		Oui
Services culturels	Paysage et esthétique	Maintien du site	La reconversion sera une amélioration de l'esthétisme du site
	Loisir et récréatif	Ouverture d'une passerelle, création d'un espace de loisir	Les espaces verts vont être un espace de loisir pour les riverains
	Préservation patrimoine naturel et architectural	Maintien du site	Abbaye (muséification).

Tableau 17 : Bénéficiaires et principaux bénéfices obtenus pour l'option de reconversion concerné le site B1 et le site B2.

	Site B1 : reconversion en parc	Site B2 : résidentiel + tertiaire
Propriétaires ou exploitants	/	Support des bâtiments, valeur foncière augmentée. Les espaces verts vont apporter des services de régulation (par ex. le climat local)
Riverains	Espace de loisir, paysage. Régulation du climat local, bruit	Espace de loisir autour des bâtiments. Ouverture d'un espace jusqu'à présent fermé
Visiteurs / touristes	Possibilité de présenter la présence de pollution d'une manière pédagogique (proposer des visites d'étudiants par ex.)	Muséification et possibilité de visiter l'ancienne abbaye (actuellement indisponible)
Collectivité / MEL	Services de régulation (inondations, îlot de chaleur) Traitement in situ de la pollution dans le sol	Services de régulation (inondations, îlot de chaleur) Attractivité d'un terrain jusqu'ici en friche
Société / monde	Stockage carbone, régulation du climat global	Bénéfices très limités

5. Exemples de villes européennes ayant recours aux concepts des solutions basées sur la nature

Ce chapitre a pour objectif de présenter des cas concrets où des villes européennes ont pris conscience de l'importance des services rendus par la nature en ville mais aussi de voir comment les villes communiquaient vis-à-vis du grand public et des parties prenantes sur ces actions.

La revue bibliographique réalisée dans le cadre de cette étude n'a pas permis de mettre en avant des exemples concrets où la politique d'aménagement d'une ville prend en compte de manière effective les différentes fonctions du sol et les services associés en fonctions des usages et occupation de ce sol. Dans le cas de la France, Blanchart et al. (2018), ont mis en avant par une analyse lexicale du mot « sol » sur plus d'une centaine de documents français d'urbanisme, que les services rendus par les sols urbains semblent peu compris ou méconnus par les collectivités.

La plateforme Oppla²¹, initialement mise en place dans le cadre d'un programme européen²² est un réseau en ligne qui promeut la connaissance sur les services écosystémiques et les solutions basées sur la nature. Cette plateforme montre que très peu de villes suivent une approche fonctions-services écosystémiques des sols. Par exemple, le terme « pollution » est uniquement cité du point de vue de la pollution de l'air et des solutions basées sur la nature pour la réduire.

Cependant, même s'il existe peu de communication sur les services associés aux fonctions mobilisées par les sols dans le cadre de l'aménagement urbain, il ressort que de plus en plus de villes européennes ont mené des projets et des actions concrètes pour la prise en compte des services écosystémiques rendus par la nature en ville en appui à l'aménagement de leur territoire. Et ces exemples montrent indirectement une approche « sol », par la prise en compte des modes d'occupation des sols et les changements de couverture.

Des projets et les documents techniques-scientifiques de deux villes du Pays Basque espagnol, San Sebastian / Donostia et Vitoria / Gasteiz, ont fait l'objet de cette revue bibliographique. Ils sont illustrés dans ce chapitre. San Sebastian / Donostia a identifié et recensé les espaces verts existants de son territoire et potentiels et leurs possibles bénéfices face aux aléas climatiques. Vitoria / Gasteiz a mis en place des actions et aménagements des espaces verts de la ville qui étaient à l'origine dégradés avec une

²¹ <https://oppla.eu/case-studies>

²² 7th Framework Programme for Research and Technical Development

évaluation qualitative des améliorations sous la forme de services écosystémiques. Ces actions sont résumées ci-après.

5.1. SAN SEBASTIAN - DONOSTIA

La ville de San Sebastian – Donostia a été le site pilote du projet Klimatek²³, ayant pour objectif de produire une cartographie des solutions fondées sur la nature existantes et potentielles au droit de la commune. La ville a été choisie comme pilote mais le guide méthodologique produit dans le cadre du projet (et qui s'appuie sur l'expérience de cette ville), se dit générique pour être décliné sur les autres communes basques (IHOBE 2017).

Le leitmotiv de ce travail sont les solutions fondées sur la nature visant à lutter contre le réchauffement climatique et les aléas climatiques : la sécheresse, les inondations, la submersion marine, les feux et les températures élevées. Les auteurs identifient également des co-bénéfices environnementaux, sociaux et économiques (Figure 17). On retrouve des services écosystémiques déjà mentionnés dans le chapitre 2.2. Cependant, la problématique de la reconquête des sols dégradés ou pollués n'est pas la priorité de cette étude. Plusieurs catégories d'interventions basées sur la nature sont identifiées au niveau : du bâtiment, de l'espace public, des masses d'eau et les systèmes de drainage, des axes routiers, de la côte et des espaces naturels et ruraux.

Climate threats		Co-benefits of the 'Nature-based Solutions'	
	Flooding due to extreme precipitations (pluvial flooding)	Environmental	 Regulation of the water cycle
	Flooding due to rivers exceeding their capacity (fluvial flooding)		 Improvement of the water quality
	Sea level rise		 Improvement of the soil quality, stability and erosion
	Waves, extreme swell		 Improvement of the air quality
	Drought		 Improvement of the noise quality and comfort
	Temperature increase		 Biodiversity
	Fires	Social	 Carbon storage
			 Health and Quality of life ²³
			 Recreation and environmental education Enhancing the space for social gathering
		Economic	 Regeneration of degraded areas and potential for reducing criminality Improving the connectivity of urban spaces
			 Reducing energy consumption
			 Improvement of local employment
			 Increasing the value of land and property

Figure 17 : types de bénéfices des solutions basées sur la nature pour des enjeux climatiques et autres (extrait de Ihobe 2017).

²³ Nature-based solutions for local climate adaptation in the Basque Country, Klimatek Project 2016, projet finance par le gouvernement basque

Les auteurs identifient également des interventions²⁴ types et les bénéfices qu'elles apportent. Ces matrices sont construites selon le modèle « usage-services écosystémiques », même si dans le rapport la notion explicite de service écosystémique n'est pas vraiment utilisée. Pour les bénéfices face aux aléas climatiques ils les évaluent selon une échelle d'intensité du bénéfice de trois niveaux (fort, moyen, faible). Pour les co-bénéfices des relations binaires sont identifiées (càd : il existe un bénéfice possible ou pas).

ENVIRONMENTAL CO-BENEFITS							
BUILDING							
Green roofs	•					•	•
Green facades, vertical gardens	•		•	•	•	•	
Naturing community-use spaces	•		•	•	•	•	•
INTERVENTIONS IN PUBLIC SPACE							
Street furniture			•	•	•		
Pervious pavements	•	•		•	•		
Comfortable urban places	•		•	•	•		
Urban micro-climates	•			•	•		
Allotment gardens	•		•			•	•
Urban parks and urban forests	•	•	•	•	•	•	•
Renaturing abandoned areas and opportunity plots	•	•	•	•	•	•	
INTERVENTIONS IN WATER BODIES AND DRAINAGE SYSTEMS							
Sustainable urban drainage systems	•	•	•				
Restoration of ponds and lakes	•	•	•			•	
Renaturing rivers and streams	•	•	•			•	
Controlled flood plains	•		•				

Figure 18 : Tableau entre différents types d'interventions de type nature en ville et bénéfices environnementaux associés.

Après avoir travaillé sur une classification des interventions types, le guide méthodologique produit dans le cadre du projet propose un tableau sur comment les identifier et les cartographier. Ce travail d'identification et diagnostic sur l'existant s'appuie sur des cartographies (occupation des sols, plans d'urbanisme), sur l'analyse des images aériennes et également sur des enquêtes ou missions de terrain. Également pour chaque type d'intervention une fiche est réalisée. Le travail se fait à trois échelles : la commune, par typologie urbaine et par quartier.

²⁴ Pour le projet Klimatek, les interventions se sont des aménagements qui utilisent la nature et ses propriétés pour mitiger les effets du changement climatique. Ces interventions incluent celles faites dans les bâtiments (toits ou murs végétalisés), dans les espaces publics, dans les cours d'eau et les systèmes de drainage, dans le littoral, le long des axes linéaires de transport et en zone péri-urbaine ou rurale.

Une dernière tâche du projet sélectionne des solutions à partir de :

- Analyse des vulnérabilités et risques,
- Priorisation des zones,
- Une évaluation de l'efficacité des mesures,
- Concertation avec les parties prenantes.

5.2. VITORIA – GASTEIZ

La ville de Vitoria – Gasteiz (CEA & Gasteizko Udala 2016) a mis en place une stratégie de nature en ville pour la gestion de ses espaces verts, avec un objectif d'amélioration des fonctions écologiques, environnementales et sociales. Vitoria-Gasteiz est une des villes européennes avec le plus d'espaces verts urbains et péri-urbains. Avant de mettre en place sa stratégie, la ville pensait, que beaucoup de ses espaces verts avaient une fonctionnalité environnementale limitée et représentaient des coûts élevés d'entretien. Les terrains concernés par la stratégie appartiennent à la commune et certains sont des friches. La problématique de la pollution des sols n'est pas traitée.

Pour matérialiser la stratégie des infrastructures vertes urbaines de Vitoria-Gasteiz, une série d'espaces sur lesquels intervenir de préférence - Green Infrastructure System Urbana -est identifiée / sélectionnée. Ensuite ces espaces ont fait l'objet d'interventions de naturalisation, en appliquant des solutions fondées sur la nature. La prochaine étape consistera à évaluer le résultat et l'adéquation de actions lancées, à travers un programme de suivi.

Le document de la stratégie présente pour un quartier de la ville (Lakua) toutes les actions de nature en ville qui sont représentées dans une carte. Pour chaque intervention une fiche, bilingue espagnol-basque est proposée. Cette fiche identifie l'état initial du site, les objectifs de la reconversion/intervention et le descriptif des travaux effectués, les services écosystémiques mobilisés et la situation finale.

Le document liste également les bénéfices – services qui sont évalués pour chaque intervention et en associe un visuel qui est utilisé dans les fiches.

- Economie des ressources
- Connectivité écologique
- Fertilité des sols
- Pollinisation
- Biodiversité
- Perméabilité des sols
- Ressource avec une valeur éducative et pédagogique
- Amélioration paysagère
- Production de fruits
- Lutte contre l'effet « îlot de chaleur »
- Stockage de carbone
- Production énergétique

La Figure 19 présente une fiche exemple extraite de ce document pour la reconversion d'une friche contenant des déchets en zone de culture énergétique et en un bassin d'orage. Avec cette intervention, ils identifient les bénéfices ou services écosystémiques mobilisés suivants: la production d'énergie, l'amélioration paysagère, la valeur éducative, la fertilité des sols et la biodiversité.



Figure 19 : Exemple de fiche d'une intervention de nature en ville réalisée dans la ville de Vitoria-Gasteiz. Les images en bas à gauche identifient les services écosystémiques. Extrait de (CEA & Gasteizko Udala 2016).

6. Conclusions et perspectives

La prise de conscience des sols comme ressource à protéger et les objectifs fixés en termes de réduction de l'artificialisation des sols en zone urbaine et péri-urbaine conduisent à un changement dans la façon de développer les territoires et la façon dont on évalue la valeur du sol. Cette valeur se situe entre sa valeur foncière et une valeur « autre », que l'on a proposé d'évaluer dans la présente étude avec le concept des fonctions et services écosystémiques des sols.

A partir d'une analyse de plusieurs travaux faits récemment dans le domaine des services écosystémiques et les quelques travaux spécifiques qui se focalisent sur les écosystèmes urbains et les milieux dégradés (friches urbaines, friches industrielles), la démarche appliquée à trois parcelles du territoire de la MEL permet en effet d'identifier (ou du moins approcher) et d'évaluer de manière qualitative les fonctions des sols en place sur des friches en contexte urbain et péri-urbain. Elle permet également d'identifier et d'évaluer les services écosystémiques qui y sont mobilisés notamment lorsque les sols sont directement impliqués. Des définitions et des exemples adaptés au contexte des sols en milieu urbain ont été développés.

La démarche qualitative pour sensibiliser les acteurs de l'urbanisme à la prise en compte des sols, ses fonctions, les services rendus, en contexte d'aménagement pourrait se décliner en plusieurs phases : 1) visite de site et reconnaissance documentaire pour identifier les fonctions mobilisées du sol en l'état et 2) évaluation qualitative des fonctions et services mobilisés à l'état initial et pour des usages envisagés. Pour appuyer la visite de site et la consultation documentaire, une grille de repérage est proposée. En effet, elle permet l'identification des fonctions existantes et les services qui sont mobilisés. Elle intègre deux principales sources d'information :

- Étude documentaire pour connaître l'historique du site :
 - o Activités, possibles sources de pollution,
 - o La contextualisation du site par rapport aux documents d'urbanisme (PPR, PLU, Scot), les espaces naturels (Natura 2000, la trame verte ou bleue) et les eaux souterraines,
- Visite de site pour repérer :
 - o Le positionnement du site par rapport aux sites voisins, identification des sites semblables autour,
 - o La gestion des eaux de surface en relation aux parcelles voisines,
 - o L'état actuel des fonctions des sols à travers des observations très simples,
 - o Les besoins en diagnostics supplémentaires (bio-indicateurs, pollution des sols, géotechnique),
 - o Les usages actuels (pérennes ou temporaires) du site et les services qui y sont déjà exploités.

D'une manière qualitative cette grille de repérage permet de se poser les bonnes questions et de les structurer. Mais une démarche qualitative comme celle développée ici rencontre toutefois des nombreuses limites lorsqu'il s'agit de comparer les solutions.

L'échelle de travail est aussi un des points clés de l'analyse. Idéalement, pour les fonctions de sol, il faudrait raisonner avec des couvertures du sol homogène. Dans les écosystèmes en ville, où les espaces verts cohabitent avec des portions de sol scellées occupées par des bâtiments ou de la voirie, en plus des aménagements comme les toitures végétalisées, il n'est pas possible descendre à une échelle de travail aussi fine, l'échelle de travail la plus fine étant le parcellaire du cadastre. De ce fait on propose de raisonner en relatif, par parcelle ou parties de parcelle, en % de surface scellée ou non et en % de surface végétalisée.

Cette démarche est donc une première pierre pour la sensibilisation des acteurs de l'urbanisme à la prise en compte des fonctions des sols dans l'aménagement des sites dégradés. Comme il a été montré, l'évaluation des fonctions et des services n'est pas binaire. Si l'on ajoutait plus de nuances à l'évaluation des améliorations et des dégradations des fonctions et services, un outil d'évaluation des services devrait être développé. Des projets récents ou en cours tels que DESTISOL et MUSE²⁵ devraient apporter plus d'éléments.

D'une manière générale, l'application d'une démarche d'évaluation des fonctions et services écosystémiques sur deux sites de l'agglomération lilloise a permis de montrer :

- Dans le cas de sols fortement dégradés, presque n'importe quelle option de reconversion envisagée par un aménageur peut apporter des bénéfices. L'évaluation des services écosystémiques devient alors un critère parmi d'autres pour évaluer quelles solutions seraient plus vertueuses en termes de services.
- Si acceptées d'un point de vue réglementaire et méthodologique, des scénarios de gestion de la pollution présente selon des solutions fondées sur la nature (phytoremédiation par exemple), sont recommandées. Ces mesures de gestion s'inscrivent dans un temps long, mais présentent en contrepartie des bénéfices liés à la présence de nature en ville. Pour ces solutions il est indispensable qu'elles ne représentent pas une nouvelle exposition des usagers aux pollution existantes.

De plus, une des poursuites à la démarche testée, serait la monétarisation de l'ensemble des services mis en avant. Pour cela l'identification des groupes de bénéficiaires réalisé est un premier pas.

Et enfin, la revue de deux expériences du Pays Basque met en avant des éléments d'intérêt pour la démarche proposée et appliquée en chapitre 4, même si l'enjeu des terrains dégradés ou pollués est un sujet secondaire dans ces études. Les grands sites industriels basques se trouvent en périphérie des villes mentionnées dans les deux approches présentées. On peut cependant retenir les éléments suivants. L'échelle de travail est la ville (la commune), entité qui a la gouvernance des espaces verts et de l'urbanisme. Les actions de ré-naturalisation sont évaluées d'une manière qualitative avec une démarche qui met en avant les « services écosystémiques » mobilisés par les actions d'aménagement, telle que proposée ici dans le chapitre 4. Dans ces études les

²⁵ Projet MUSE : intégrer la multifonctionnalité des sols dans les documents d'urbanisme

services retenus ne sont que ceux qui ont un plus grand intérêt pour les objectifs initiaux des études (mitigation des effets du changement climatique, régulation du climat local, régulation des inondations et du cycle de l'eau en général). On identifie cependant une certaine disparité dans la dénomination des bénéfices et des services (on ne parle que très peu des services écosystémiques sensu stricto par ailleurs), sans mentions explicites aux grandes référentiels des services écosystémiques (MEA, CICES). Cependant, les deux cas d'étude mettent en avant une vision prospective s'appuyant sur des outils cartographiques et avec un format de restitution est sous la forme de fiche de cas. Ces derniers éléments pourraient être repris pour la démarche développée ici en appui à stratégie foncière de la MEL.

7. Bibliographie

Ademe (2018). Aménager avec la nature en ville. Des idées préconçues à la caractérisation des effets environnementaux, sanitaires et économiques. ISBN 979 1 02971 180 0. <https://www.ademe.fr/amenager-nature-ville>

Adhikari K. et Hartemink A. (2016). Linking soils to ecosystem services – A global review. *Geoderma* 262 101-111.

Baptist F., Disca T., Hellal J., Limasset E., Hortio M. et Binet T. (2018). Mesure de la biodiversité et évaluation des services écosystémiques des milieux restaurés. Méthodes et retours d'expériences. RECORD 17-1021/1A.

Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology letters*. 12(12), 1394–1404.

Blanchart A. (2018). Vers une prise en compte des potentialités des sols dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel. Thèse de l'Université de Lorraine.

Blanchart, A., Sere, G., Cherel, J., Warot, G., Stas, M., Consales, JN., Schwartz, C. (2017). Contribution des sols à la production de services écosystémiques en milieu urbain – une revue. *Environnement urbain, Urban environment*, 11. p 1-33. ISSN : 1916-4645 (<http://eue.revues.org/1809>)

Centro de Estudios Ambientales & Gasteizko Udala (2016). La infraestructura verde urbana de vitoria-gasteiz barrio a barrio. Proyecto de naturalización de espacios verdes y parcelas vacantes en el barrio de Lakua. En basque et espagnol. <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/47/38/64738.pdf>

CGDD (2010), Vers des indicateurs de fonctions écologiques, Liens entre biodiversité, fonctions et services, Le point sur n°51, Mai 2010.

CGDD (2013). L'évaluation des écosystèmes et des services écosystémiques. Projet EFES.

CGDD (2018) Les écosystèmes Urbain - l'Évaluation française des écosystèmes et services écosystémiques (CEREMA) Analyse Théma et Rapport technique http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/epub/efese_ecosystemes_urbains_cle2e6fdf.epub

Commission européenne (2013), Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Economique et Social Européen et au Comité des Régions, COM (213) 249 final. http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/ce-com2013_infrastructurevertes.pdf

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

CVT Allenvi (2016) Ville et nouvelles fonctions du végétal – étude sectorielle

Dominati E., M. Patterso M., A. Mackay A., (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, n°69, p. 1858–1868. DOI : 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002

Eggermont H. (2017) Nature-Based Solutions: framing the concept, and reinforcing the knowledge base to guide effective implementation

Eggermont H. et al. (2015) Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe *GAIA* 24/4 : 243 – 248

Etrillard (2016). « Paiements pour services environnementaux : nouveaux instruments de politique publique environnementale », *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 7, n°1 | Avril 2016, mis en ligne le 11 avril 2016, consulté le 17 décembre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11274> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.11274

Gos P. (2013). Modélisation des bouquets de services écosystémiques et intensification écologique des pratiques d'élevage dans Vercors. *Sciences de la Terre*. Université de Grenoble, 2013. Français.

Haines-Young et Potschin (2018). Common International Classification of Ecosystem Services. (CICES) V5.1. Guidance on the Application of the Revised Structure.

IHOBE, Environmental Management Agency (2017). Nature-based solutions for local climate adaptation in the Basque Country, *Klimatek Project 2016. Methodological guide for their identification and mapping. Donostia/San Sebastián case study.* <http://growgreenproject.eu/wp-content/uploads/2018/05/NBS-Climate-Adaptation-Basque-Country.pdf>

JRC (2015), Mapping and assessment of urban ecosystems and their services; Sara Maia Rocha, Grazia Zulian, Joachim Maes, Martijn Thijssen; EUR 27706 EN; doi:10.2788/638737. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC100016/lb-na-27706-en-n.pdf>

Lamarque P., F. Quétier, S. Lavorel (2011), The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. *C. R. Biologies* 334 (2011) 441–449.

MEA, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1, Island Press, Washington D.C.

MEEM & FRB, ouvrage coordonné par P. Puydarrieux et W. Beyou (2017). EFESE Cadre Conceptuel. Balises Théma Biodiversité. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Thema%20-%20Efese%20-%20Le%20cadre%20conceptuel.pdf>

MEEM (2017) Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. *Direction générale de la Prévention des Risques – B3S*. 128 p.

Méral P. (2012), « Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes. », *Natures Sciences Sociétés* 1/2012 (Vol. 20) , p. 3-15. <http://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2012-1-page-3.htm>.

Morel J.L., Chenu C., Lorenz K., (2015). Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of Soils and Sediments* 15, 1659-1666.

Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., & Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107(11), 5242–7.

Séré G., Cherel J., Blanchart A., Warot G., Schwartz C. (2018). Prise en compte des potentialités des sols dans l'aménagement urbain : du projet à la planification. Séminaires IGCS. http://www.gissol.fr/wp-content/uploads/2018/07/potentialites-sols-amenagement-urbain-SUPRA-Destisol_GSere_IGCSNancy2018-2.pdf

TEEB - Wittmer, H., & Gundimeda, H. (2010). A quick guide to the economics of ecosystems and biodiversity for local and regional policy makers - TEEB.

Tibi A., Therond O. (2017). Evaluation des services écosystémiques rendus par les écosystèmes agricoles. Une contribution au programme EFESE. Synthèse du rapport d'étude, Inra (France), 118 pages.

Tobias S., Conen F., Duss A., Wenzel L., Buser C. et Alewell C. (2017). Soil sealing and unsealing: State of the art and examples. *Land Degrad Dev*. 2018;29:2015–2024. DOI: 10.1002/ldr.2919

UICN France (2013). Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - volume 2.3 : les écosystèmes urbains. Paris, France.

Van der Meuden S. et Maring L. (2018). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services Soil ecosystems. Providing support in relation to the implementation of the EU Soil Thematic Strategy.

Annexe 1 Revue des bénéfices liés à l'aménagement de nature en ville

Éléments extraits du rapport « Aménager avec la nature en ville » de l'ADEME (2018²⁶).

Maintien de la biodiversité en milieu urbain

Les espaces urbanisés sont favorables à la biodiversité lorsqu'ils offrent une grande variété d'habitats : forêts et parcs urbains, jardins, friches urbaines, squares, cours d'eau et leurs alentours, bassins de rétention ou filtration des eaux pluviales, étangs artificiels et mares, cordons boisés, accotements des voies de circulation (train, routes) voire terre-pleins centraux végétalisés, toitures et murs végétalisés, par exemple.

La biodiversité peut être plus importante dans les espaces urbains et périurbains que dans certains espaces ruraux, en raison des paysages peu diversifiés, de la destruction des habitats naturels et de l'utilisation importante de pesticides par l'agriculture intensive et/ou spécialisée.

Biosurveillance de la qualité de l'air et des sols

La nature en ville peut être un outil de surveillance de la qualité de l'air et des sols. Elle permet de mettre en évidence des impacts liés à la contamination, notamment liée à l'urbanisation, d'un milieu (air, sol, eau, sédiment) sur les organismes vivants.

L'utilisation d'organismes vivants, observés ou collectés in situ (exemples : organismes sentinelles, bioindicateurs), présente l'intérêt d'examiner les écosystèmes avec une vision écologique intégrant l'ensemble des facteurs environnementaux.

Concernant les bioindicateurs de la qualité des sols on citera le programme de l'ADEME BIOindicateurs de la Qualité des Sols.

Régulation de la qualité de l'air

La végétation contribue à la circulation de l'air voire à la filtration et à l'absorption de certaines particules atmosphériques et polluants, mais peut être une source de polluants et d'allergènes.

Régulation de la pollution des sols urbains (phytotechnologies)

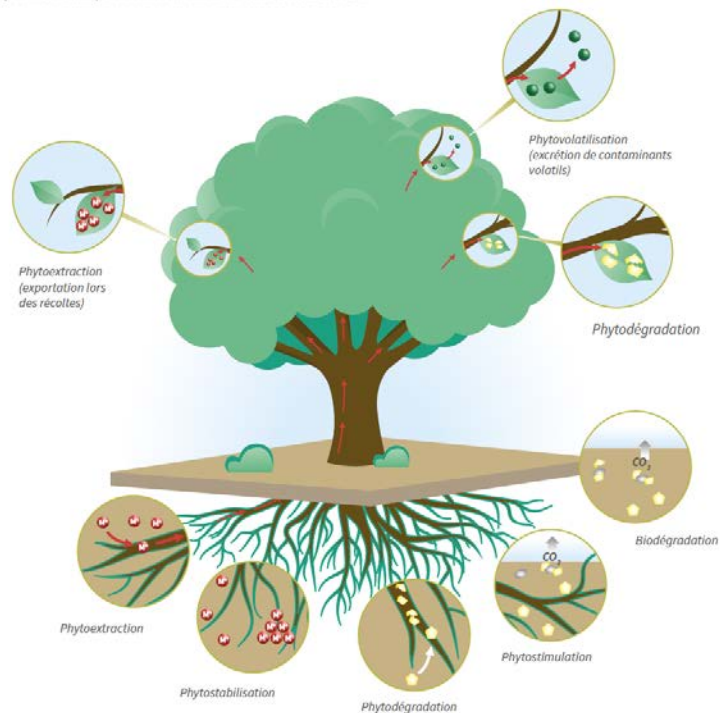
Les microorganismes des sols dégradent des polluants (surtout composants organiques) ou font précipiter des métaux sous une forme stable. Certaines espèces végétales retiennent des métaux ou dégradent des composés organiques.

²⁶ <https://www.ademe.fr/amenager-nature-ville>

La bioremédiation des sols pollués limite le transfert de polluants vers la nappe, limite également l'érosion et les envols de poussières.

Les phytotechnologies, pour être efficaces, nécessitent du temps (des années, voire des décennies). Elles sont donc intéressantes dans des contextes où la durée de traitement n'est pas une contrainte.

Principes des techniques de bioremédiation. Source : Isabelle FEIX



Principes des techniques de bioremédiation des sols.

Régulation du bruit

La nature en ville a un impact positif sur le ressenti de l'ambiance sonore, à relativiser avec d'autres équipements comme les écrans acoustiques.

La végétation a un effet limité comme filtre acoustique. Le sol (racines des plantes, litière et couche d'humus) reste le principal absorbant acoustique.

Les phytotechnologies, pour être efficaces, nécessitent du temps (des années, voire des décennies). Elles sont donc intéressantes dans des contextes où la durée de traitement n'est pas une contrainte.

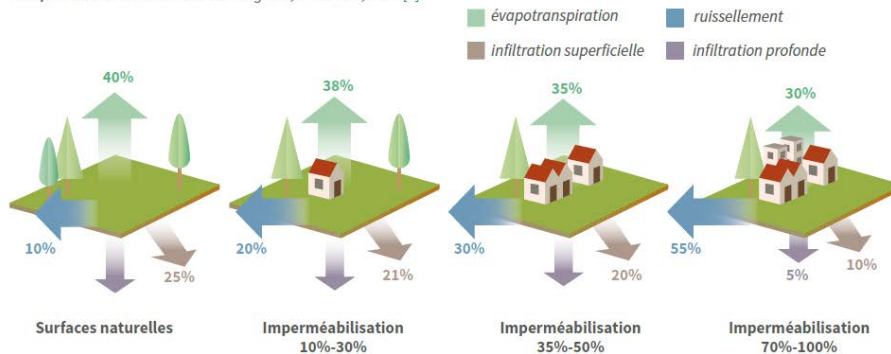
Régulation des inondations

Plus le taux d'imperméabilisation est faible, plus l'infiltration est forte et le ruissèlement est faible. Le volume de crue se réduit en conséquence.

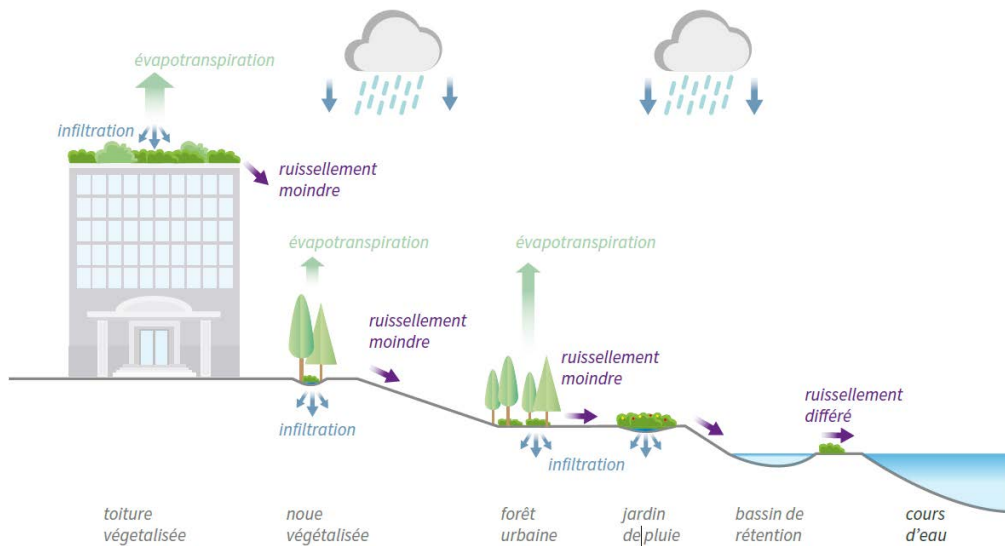
L'imperméabilisation accentue le débit de pointe de crue et son temps d'arrivée dans les cours d'eau.

Les surfaces végétalisées (sol et hors sol) et des aménagements comme des noues ou bassins de rétention favorisent l'infiltration, le ralentissement des eaux et l'évapotranspiration.

Importance relative de l'infiltration, du ruissellement et de l'évapotranspiration selon l'occupation du sol et le taux d'imperméabilisation. Source : Livingston, McCarron, 1992 [9]



Importance relative de l'infiltration, le ruissellement et l'évapotranspiration selon l'occupation et la couverture des sols. Extrait du rapport de l'ADEME (2017).



L'apport des différents éléments végétalisés urbains à la gestion des eaux de ruissellement urbaines. Source : Isabelle Feix

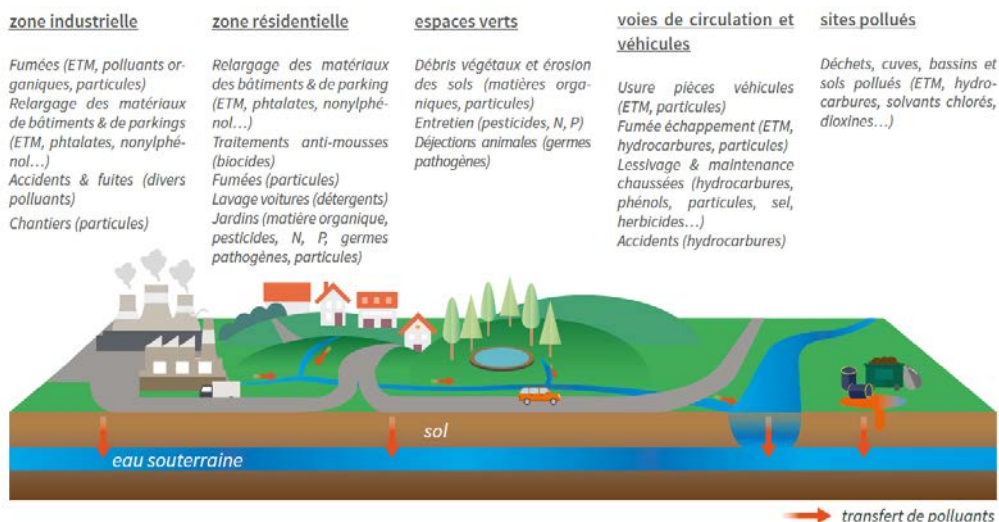
Différentes solutions de nature en ville et influence sur le cycle de l'eau. Extrait d'ADEME (2018), source Isabelle Feix.

Régulation de la qualité des eaux

En milieu très imperméabilisé on aura plus d'eau de ruissellement et celle-ci sera très chargée en polluants (métaux lourds, huiles, sédiments, bactéries).

Des aménagements de nature en ville (arbres, jardins de pluie, noues) sont efficaces à la rétention de polluants (hydrocarbures, métaux) des eaux de ruissellement.

En zones sans systèmes d'assainissement collectif, les sols sont utilisés pour le traitements des eaux usées domestiques.



Sources et voies de transferts de la contamination des eaux superficielles et souterraines dans un bassin versant urbanisés (source ADEME 2017, I. Feix)

Régulation du climat local (lutte contre l'effet îlot de chaleur)

Les espaces de nature en ville contribuent à réduire la chaleur estivale par l'ombrage et l'augmentation de l'humidité relative de l'air, grâce au sol (évaporation) et aux plantes (transpiration). Cependant, cela repose sur un sol qui permet un stock en eau et des espèces végétales qui transpirent.

L'effet de rafraîchissement de la végétation est d'autant plus important que le taux de couverture végétale est important.

Régulation thermique dans les bâtiments

La présence d'arbres en périphérie/proximité des bâtiments permet un rafraîchissement l'été mais peuvent être pénalisants en hiver si trop d'ombrage. Prioriser les espèces caducifoliées.

Régulation du climat global

Les sols stockent de carbone. La concentration d'un sol artificialisé est variable, les sols avec une majeure concentration de carbone sont ceux de forêts et prairies.

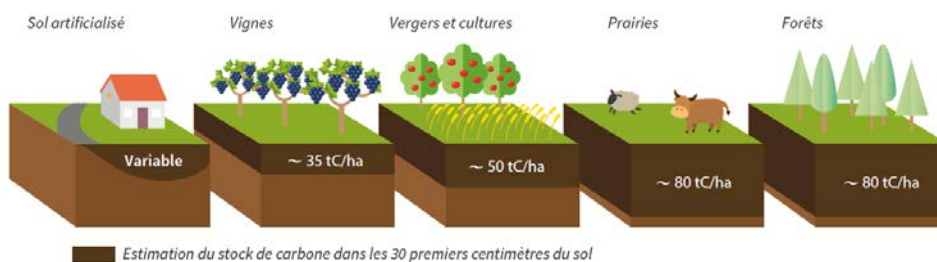
Dans le bilan global il est indispensable prendre en compte le mode de gestion des espaces verts. En milieu urbain les émissions GES de l'entretien des arbres et dues à leur décomposition sont bien inférieures à la séquestration de carbone.

Les pelouses séquestrent du carbone, dans une capacité toutefois limitée. Quand l'entretien est intensif, la pelouse devient émettrice nette de GES car les émissions sont supérieures à la séquestration. Celui-ci est le cas en France pour les pelouses des jardins privatifs et terrains de sport.

En cas de changement d'usage du sol, le bilan peut être favorable ou défavorable selon les cas. En général, le stock de carbone dans les sols commence par diminuer, d'autant plus si l'écosystème initial possédait un stock de carbone important (prairies, forêts). A l'échelle du territoire un bilan est à faire entre :

- Émissions et stockage de carbone par les arbres, les sols et les pelouses tout au long de leur cycle de vie
- Émissions GES évitées grâce aux économies d'énergie
- Émissions liées aux changements d'occupation des sols

Variation des stocks de carbone organique selon l'affectation des sols en France. Source : ADEME, 2014[1]



Variation des stocks de carbone dans différents types de sols (extrait d'ADEME 2018).

Approvisionnement en aliments

Les jardins sont une source d'aliments à condition de veiller sur la qualité des milieux (eaux, sols) pour garantir la qualité des denrées et éviter toute contamination

Nature en ville et attractivité des espaces urbanisés

La nature en ville accroît la valeur des espaces urbains.

Dépense publique et valeur économique

Les derniers chapitres du document de l'ADEME se penchent sur la question du coût et des bénéfices des aménagements de la nature en ville. La nature en ville peut engendrer un surcoût aux finances publiques, selon le mode de gestion de ces espaces naturels, mais également, comme il a été montré, présentent toute une série de bénéfices (sous la forme de services écosystémiques) qui peuvent être évalués par une monétarisation ou par des méthodes d'impact socio-économique.

Annexe 2 Classification générale des services écosystémiques et milieux concernés s'inspirant en partie de l'EFESE et de CICES

Nomenclature à plusieurs niveaux								
Premier niveau	S : support ; A : approvisionnement ; R : régulation ; C : culture							
Second niveau	B : biomasse ; F : flux ; H : habitat ou support physique ; E : eau ; R : ressource ; S : sol ; P : pollutions, pathogènes ; C : climat							
			Compartiments concernés					
Code	Catégorie	Service URBAN SE	Sol	Sous-sol	Eau de surface	Eau souterrain	Air	Biotique
S.B.1	Support	Production primaire						x
S.B.2	Support	Production secondaire						x
S.B.3	Support	Polinisation et dispersion des semences			x		x	x
S.F.1	Support	Maintien des cycles de matière	x	x	x	x	x	x
S.H.1	Support	Formation de sol	x	x	x	x	x	x
S.H.2	Support	Habitat pour la biodiversité	x	x	x	x	x	x
S.H.3	Support physique	Fondations des batiments et infrastructures dans le compartiment du sous sol	x					
S.H.4	Support physique	Infrastructures et constructions souterraines	x	x				
A.E.1	Approvisionnement	Fourniture eau potable			x	x		
A.E.2	Approvisionnement	Fourniture eau autre usage			x	x		
A.B.1	Approvisionnement	Production de biomasse alimentaire	x	x	x	x	x	x
A.B.2	Approvisionnement	Production de biomasse matériau	x	x	x	x	x	x
A.B.3	Approvisionnement	Production de biomasse énergie	x	x	x	x	x	x
A.B.4	Approvisionnement	Production de ressources génétiques	x	x	x	x	x	x
A.R.1	Approvisionnement	Production de ressources minérales	x	x				
A.R.2	Approvisionnement	Production d'énergie fossile / fissile		x				
A.R.3	Approvisionnement	Production d'énergie thermique	x	x	x	x	x	
R.E.1	Régulation	Contrôle des inondations			x	x		
R.E.2	Régulation	Contrôle des sécheresses			x	x		
R.E.3	Régulation	Protection contre les incendies			x	x		
R.S.1	Régulation	Contrôle/régulation de l'érosion	x					
R.S.2	Régulation	Contrôle/régulation des instabilités gravitaires des sols (gisements, cavités, etc.)	x	x				
R.P.1	Régulation	Régulation des déchets, des polluants et des nuisances olfactives	x	x	x	x	x	x
R.P.2	Régulation	Régulation des pathogènes / nuisibles / ravageurs / espèces invasives	x		x	x	x	x
R.P.3	Régulation	Régulation des nuisances sonores et visuelles	x					x
R.C.1	Régulation	Régulation du climat global (stockage de carbone)	x	x	x	x		
R.C.2	Régulation	Réguation du climat local : Régulation de la température et humidité (inclus ventilation et transpiration)	x		x	x	x	
R.F.1	Régulation	Stockage géologique d'énergie thermique	x	x				
R.F.2	Régulation	Stockage géologique de gaz	x	x				
R.F.3	Régulation	Stockage géologique de substances	x	x				
C.1	Culture	Récréation	x	x	x	x	x	x
C.2	Culture	Education, connaissance et recherche	x	x	x	x	x	x
C.3	Culture	Aménités paysagères et esthetisme	x	x	x	x	x	x
C.4	Culture	Culture et spiritualité	x	x	x	x	x	x
C.5	Culture	Dimension patrimoniale de la biodiversité/des écosystèmes	x	x	x	x	x	x

Annexe 3

Photographies



Site A. Présence d'un grand nombre d'espèces végétales d'herbacées.



Site A. Après un été très sec, signes d'humidité dans le sol dans la partie la plus basse de la parcelle.



Image du site A. En premier plan les gravats excédents du chantier disposés sur un géotextile.



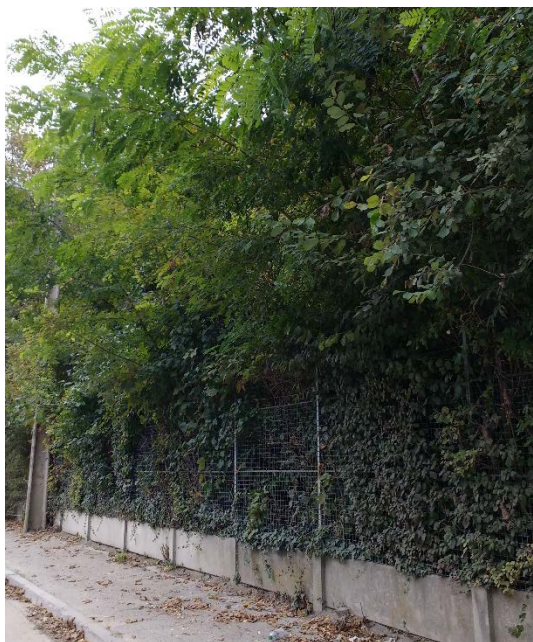
Site B2. Restes de gravats et déchets divers, sols scellés en partie.



Site de l'ancienne usine du site 2B, bâtiment d'entrée. Présence de faux-acacia tout le long des clôtures du site.



Entrée de l'ancien stade de l'ancienne usine (site 2A), de style art déco.



Clôture le long du site de l'ancien stade (site 2A). Présence de diverses espèces d'arbres (platanes, faux acacia).



Clôture le long du site de l'ancien stade (site 2A). Détail de la densité des espèces végétales.

Annexe 3

Evaluations détaillées par site

Site A : Évaluations des fonctions des sols à l'état initial

Famille de fonctions	Fonctions	État de la fonction sur le site
Fonctions hydro-géo-morphologiques	Ralentissement des eaux de ruissellement	Configuration topographique et couverture plutôt propice à un ralentissement des eaux de pluie et stabilisation des sols. Risque en cas des fortes pluies d'une grande flaque d'eau
	Stabilisation des sols	
	Rétention des écoulements	
	Recharge des nappes	Peu/pas de recharge de la nappe d'après la configuration hydrogéologique du site
	Soutien d'étéage	Non considéré pour le site
Fonctions biochimiques	Restauration ou maintien de la matière organique	Malgré une dégradation des sols (compacité, présence de remblais) le site a une grande diversité d'espèces végétales. Signe d'une certaine qualité et fertilité, qui est à évaluer par des indicateurs plus poussés (diag. pédologique)
	Rétention, transformation et élimination des polluants	Sans présence connue de polluants (mais ancienne activité agricole, possibilité phytosanitaires selon le passé agricole de la parcelle).
	Séquestration de carbone	Séquestration de carbone par les sols et la végétation (arbustes et herbacées).
Fonctions biologiques	Habitat d'espèces	Variété d'espèces végétales. Restes de passage d'animaux (lapins, escargots, fourmis).
	Connectivité	Site entouré par des axes routiers, un peu en cul-de-sac, mais avec une certaine connectivité avec d'autres espaces verts (bocage et agricoles).
Fonctions géotechniques	Support géotechnique	Dégradé par la présence de gravats et des remblais. A priori superficiel.

Site B1 : Évaluations des fonctions des sols à l'état initial

Famille de fonctions	Fonctions	État de la fonction sur le site
Fonctions morphologiques	hydro-géo-	
	Ralentissement des eaux de ruissellement	Configuration topographique et couverture plutôt propice à un ralentissement des eaux de pluie et stabilisation des sols.
	Stabilisation des sols	
	Rétention des écoulements	
	Recharge des nappes	Recharge de la nappe alluviale, qui est polluée.
	Soutien d'étiage	Nappe alluviale en contact avec la Deûle, donc les sols peuvent agir en tant que soutien d'étiage de la Deûle
Fonctions biochimiques	Restauration ou maintien de la MO	Grande diversité d'espèces végétales. Signe d'une certaine qualité et fertilité, qui est à évaluer par des indicateurs plus poussés (diag. pédologique)
	Rétention, transformation et élimination des polluants	D'après BASOL présence forte de plusieurs polluants (Zn, As, Pb) sur le terrain de sport. Possibilité de rétention de ces polluants de type métaux lourds par les sols et la végétation.
	Séquestration de carbone	Séquestration de carbone par les sols et la végétation très dense.
Fonctions biologiques	Habitat d'espèces	Variété d'espèces végétales. Les espèces animales dans le site n'ont pas été identifiées et comptabilisées
	Connectivité	Site entouré par la Deûle, autres friches et bâtiments. A moins 1km d'autres sites de type forêt urbaine
Fonctions géotechniques	Support géotechnique	Anciens remblais, qualité géotechnique des sols a priori médiocre.

Site B2 : Évaluations des fonctions des sols à l'état initial

Famille de fonctions	Fonctions	État de la fonction sur le site
Fonctions morphologiques	hydro-géo-	
	Ralentissement des eaux de ruissellement	Configuration topographique favorable, mais présence de surfaces imperméables (goudron et dalles). Présence faible de végétation qui favorisera un ralentissement des eaux de ruissellement
	Stabilisation des sols	
	Rétention des écoulements	
	Recharge des nappes	Recharge de la nappe alluviale, qui est polluée.
	Soutien d'étiage	Nappe alluviale en contact avec la Deûle, donc les sols peuvent agir en tant que soutien d'étiage de la Deûle
Fonctions biochimiques	Restauration ou maintien de la MO	Faible diversité d'espèces végétales, espèces résistantes (faux-acacia). Sols de mauvaise qualité, à évaluer par des indicateurs plus poussés (diag. pédologique). Site en attente de dépollution ?
	Rétention, transformation et élimination des polluants	D'après BASOL présence forte de plusieurs polluants (Zn, As, Pb, Cd, Hg, Cu). Très peu d'espèces végétales sur cette partie du site pour parler proprement de la possibilité de rétention par les plantes.
	Séquestration de carbone	Très peu de sols avec MO ou espèces végétales, séquestration de carbone très réduite
Fonctions biologiques	Habitat d'espèces	Très peu d'espèces végétales
	Connectivité	Site entouré par la Deûle et autres friches ou bâtiments. A moins 1km d'autres sites de type forêt urbaine
Fonctions géotechniques	Support géotechnique	Anciens remblais, qualité géotechnique des sols a priori médiocre.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Direction Régionale Haut de France
Arteparc Bâtiment A
2 rue des Peupliers
59810 – Lesquin - France
Tél. : 03 20 19 15 40