



LA PRISE EN COMPTE DES SOLS URBAINS ET DE LEUR QUALITÉ DANS L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

CLARISSE DUGARDIN

Août 2024

Sous la direction de Sophie Carré, chargée de projet au PUCA.



Figure 1 : Une coupe de sol. © Shutterstock.com/Noppharat4569.



LA PRISE EN COMPTE DES SOLS URBAINS ET DE
LEUR QUALITÉ DANS L'AMÉNAGEMENT DU
TERRITOIRE

CLARISSE DUGARDIN

Table des matières

INDEXE DES ABREVIATIONS :	5
INTRODUCTION	8
1. COMMENT SONT APPREHENDÉS LES SOLS EN MATIÈRE JURIDIQUE ?	11
1.1. LES TEXTES TRAITANT DES SOLS URBAINS EN DROIT FRANÇAIS	11
1.1.1. Les sols dans le Code civil à travers le droit de propriété.....	11
1.1.2. Les sols urbains dans le Code de l'urbanisme.....	12
1.1.3. Le droit de l'environnement	15
1.2. LES ÉVOLUTIONS LEGISLATIVES EN FAVEUR D'UNE MEILLEURE PRISE EN COMPTE DES SOLS	17
1.2.1. La loi ALUR de 2014.....	17
1.2.2. La loi sur la biodiversité de 2016	18
1.2.3. La loi Climat et résilience et la loi ZAN	20
1.3. LA PROTECTION DES SOLS AU NIVEAU INTERNATIONAL	22
1.3.1. Les dispositions de droit souple	23
1.3.2. La stratégie de l'Union européenne pour la protection des sols à l'horizon 2030 25	
2. L'IMPORTANCE DE PROTÉGER LES SOLS URBAINS	26
2.1. LA MULTIFONCTIONNALITÉ NATURELLE DES SOLS LIMITÉE EN MILIEU URBAIN 27	
2.1.1. Les sols comme réservoirs de biodiversité.....	27
2.1.2. Les services écosystémiques rendus par les sols.....	29
2.1.3. Les sols urbains à l'heure du ZAN	31
2.2. LA DIVERSITÉ DES SOLS URBAINS	33
2.2.1. Les sols pseudo-naturels.....	33
2.2.2. Les anthrosols et technosols	34
2.2.3. Reconnaître la valeur des sols urbains	35
2.3. LES INDICATEURS DE LA QUALITÉ DES SOLS.....	36
2.3.1. L'outil Quali'ZAN	36
2.3.2. L'Indice de Qualité des Sols Bruxellois (IQSB-PRO).....	37
2.3.3. Les projets MUSE et DESTISOL	39
3. LA NOTION DE TRAME BRUNE POUR PRÉSERVER LES SOLS URBAINS	40
3.1. TENTATIVE DE DÉFINITION DE LA NOTION	40
3.1.1. La trame brune, une trame consacrée au sol	40
3.1.2. Un support de la trame verte et bleue.....	44
3.2. LA REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DE LA QUALITÉ DES SOLS	47
3.2.1. Les outils de cartographie des sols existants, la prédominance d'une approche gestionnaire et l'exclusion des sols urbains	48
3.2.2. La nécessité de qualifier les sols urbains afin de mieux mieux appréhender leurs enjeux dans l'aménagement du territoire	52

3.3. QUELLE ECHELLE D'URBANISME POUR PRESERVER LES SOLS URBAINS ?.....	60
3.3.1. L'échelle régionale	60
3.3.2. L'échelle du SCoT	61
3.3.3. L'échelle communale et intercommunale	63
CONCLUSION	70
TABLE DES ILLUSTRATIONS	72
BIBLIOGRAPHIE	73

Indexe des abréviations :

AFES : Association française pour l'étude du sol

ALUR : loi pour l'Accès au logement et un urbanisme rénové

BAUM : Biodiversité, Aménagement Urbain, Morphologie

CDR : Cahier de recommandations

CES : Coefficient d'emprise au sol

COS : Coefficient d'occupation des sols

DGALN : Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature

DOO : Document d'orientations et d'objectifs

EFESE : Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques

EPT : Établissement public territorial

IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

IQSB : Indice de qualité des sols bruxellois

MOS : Mode d'occupation des sols

OFB : Office français de la biodiversité

PADD : Projet d'aménagement et de développement durables

PLU(i) : Plan local d'urbanisme (intercommunal)

POS : Plan d'occupation des sols

PUCA : Plan urbanisme construction architecture

RMQS : Réseau de mesures de la qualité des sols

SCOT : Schéma de cohérence territorial

SRADDET : Schéma régional d'aménagement de développement durable

SRCE : Schéma régional de cohérence écologique

SUITMA : Soils of urban, industrial, traffic, mining and military areas

TVB : Trame verte et bleue

WRB : World Reference Base for Soil Ressources

ZAN : Zéro artificialisation nette

« La nation qui détruit son sol se détruit elle-même » Franklin
D.Roosevelt

Introduction

Les sols, en tant que milieux vivants, ne disposent pas de protection au niveau juridique et sont assez largement oubliés par les politiques publiques d'aménagement. Pourtant, le sol est un élément fondamental à la vie sur terre dans la mesure où il remplit de nombreuses fonctions et fournit par ailleurs de nombreux services aux sociétés humaines. Les sols abritent notamment un quart de la biodiversité mondiale. Leur définition varie toutefois selon les disciplines, et le sol de l'architecte n'est pas le même que celui du juriste, du pédologue ou du paysagiste. Le sol est défini par le dictionnaire Le Robert comme la « partie superficielle de la croûte terrestre, à l'état naturel ou aménagée pour le séjour des humains ». Finalement, le sol est assez largement appréhendé comme le support principal des activités humaines, et non comme un milieu vivant à protéger.

Néanmoins, de nombreuses initiatives portées par des acteurs variés, émanent d'une volonté de créer un cadre protecteur pour les sols. Ces projets sont fondés sur les travaux de scientifiques mettant en exergue le rôle capital des sols dans l'équilibre planétaire, à l'instar de Marc-André Selosse, microbiologiste et spécialiste du sol. Ce dernier participe largement à répandre la connaissance sur les sols et leurs enjeux, par ses écrits et interventions à destination du grand public. Ainsi, les sols sont aujourd'hui de plus en plus étudiés par différents champs disciplinaires, mais les connaissances sur les sols urbains demeurent très lacunaires.

Pour citer quelques travaux, l'Atelier des territoires a tout d'abord consacré une session nationale à la thématique « Mieux aménager avec les sols vivants », avec pour objectifs de faire évoluer le rapport au sol et d'accompagner des territoires désireux d'intégrer le sol en tant que ressource à préserver dans les processus d'aménagement¹. Cinq sites avaient alors été sélectionnés afin d'interroger « la relation sol-aménagement »². La métropole de Tours a participé à ce projet en partenariat avec la DDT 37 et d'autres acteurs, et les travaux menés ont permis de réaliser le « Référentiel des sols vivants pour mieux aménager en Touraine »³. En outre, dans le cadre de l'élaboration de son Plan local d'urbanisme métropolitain (PLUm), Tours Métropole Val de Loire s'interroge sur l'identification d'une trame brune pour assurer la protection des sols de son territoire. Le programme de recherche POPSU Transitions permet

¹ Atelier Sols vivants | Présentation, 2023. https://www.atelier-territoires.logement.gouv.fr/ateliers-sols-vivants-1-presentation-a212.html#H_SITES

² Idem.

³ Note d'orientation, Tours Métropole Val de Loire / Université de Tours, 29 novembre 2023.

ainsi d'accompagner la mise en œuvre du document grâce à la collaboration entre la métropole et une équipe pluridisciplinaire, composée essentiellement de juristes de l'Université de Tours. Par ailleurs, dans le cadre du programme BAUM (Biodiversité, Aménagement Urbain, Morphologie), lancé en 2019 par le PUCA, le thème des sols et de la trame brune a été traité par l'équipe de recherche Tram'Biosol. L'objectif de ce projet était de travailler sur l'« Intégration de la Trame brune et de la biodiversité lombricienne des sols dans les programmes d'aménagement urbain ». Limoges métropole a également réalisé une méthodologie pour l'inscription d'une trame brune dans son PLUi.

Ainsi, les programmes précités présentent de manière non exhaustive des initiatives traitant de la préservation des sols et de son intégration dans les documents d'urbanisme. La trame brune est un terme souvent évoqué dans le cadre des discussions autour des sols et de l'aménagement. Cette expression est inspirée de la Trame verte et bleue (TVB), appliquée à la continuité écologique des sols et affiche l'ambition d'intégrer des dispositions qualitatives sur les sols dans les documents d'urbanisme et dans les pratiques d'aménagement urbain. La trame brune aurait pour objectif de préserver la biodiversité du sol et d'assurer ainsi leurs fonctions écologiques. La biodiversité est définie par l'Office français de la biodiversité (OFB) comme « l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent. Ce terme (comprenant) également les interactions des espèces entre elles et avec leurs milieux ». La biodiversité des sols est assez méconnue et représente pourtant une quantité très importante d'organismes et de micro-organismes.

Bien que les enjeux relatifs aux fonctionnalités des sols et à leur préservation soient communs à tous les milieux, les sols sont appréhendés différemment selon qu'ils soient situés en milieu naturel, agricole ou urbain. Dans le cadre des Assises nationales de la sobriété foncière, organisées en juillet 2024, des propositions sur le ZAN ont été formulées, pour certaines dans l'objectif de mieux appréhender les sols. On y retrouve notamment la nécessité de définir juridiquement le sol, la nécessité de mieux connaître les sols (particulièrement les sols de zones urbaines), ainsi que le besoin d'informer, de former et de sensibiliser sur les sols⁴. Ainsi, les sols urbains constitueront le cadre de la présente étude, au regard des enjeux qu'ils présentent dans un contexte de sobriété foncière et d'atteinte de l'objectif zéro artificialisation nette des sols en 2050, ainsi qu'au regard du manque de connaissances à leur sujet. En effet, en

⁴ Sobriété foncière – 17 propositions pour garantir des cadres de vie durables, Ordre des Géomètres experts.

milieu urbain, les sols sont une ressource de plus en plus rare, ce qui impose une remise en question des pratiques d'aménagement.

Par conséquent, ce travail a vocation à apporter des éclairages à la problématique suivante :

En quoi la trame brune pourrait permettre d'intégrer la question des sols et de leur préservation dans les documents d'urbanisme ? Autrement dit, comment l'intégration d'une nouvelle trame dans les documents d'urbanisme pourrait-elle permettre de préserver les sols ?

La première partie sera consacrée à l'étude de l'état du droit en matière de protection des sols urbains. La seconde partie s'attachera à présenter les caractéristiques des sols urbains et l'importance de leur préservation. La troisième partie étudiera la notion de trame brune.

1. Comment sont appréhendés les sols en matière juridique ?

Il n'existe pas aujourd'hui de règles de droit que l'on pourrait qualifier de « droit de préservation des sols » et qui aurait vocation à protéger les sols afin de préserver la biodiversité qu'ils concentrent. Le sol est essentiellement appréhendé en tant que surface, dans sa dimension foncière, et du point de vue des usages qu'il peut accueillir. Le « droit des sols » renvoie en droit de l'urbanisme aux autorisations d'urbanisme et donc aux réglementations de l'usage des sols.

Contrairement à l'air et à l'eau, dont la protection est assurée par des réglementations spécifiques, le sol n'est pas considéré comme un objet de droit à part entière. Toutefois, la nécessité de préserver les sols vivants est aujourd'hui assez évidente et le rôle primordial des sols fait aujourd'hui consensus dans un contexte de changements globaux. Ainsi, nous étudierons l'état du droit en la matière ainsi que les évolutions législatives visant à protéger les sols.

1.1. Les textes traitant des sols urbains en droit français

Cette première partie étudie les différentes règles de droit intégrant des dispositions sur les sols, tant en droit privé qu'en droit public. Le sujet d'étude étant centré sur les sols urbains, le code rural n'est pas étudié ici.

1.1.1. Les sols dans le Code civil à travers le droit de propriété

Tout d'abord, le droit de propriété, droit fondamental en France, a un effet important sur la manière dont le sol est appréhendé dans les politiques publiques et par les individus. Il est proclamé à l'article 2 de la Déclaration des Droits de l'Homme et du citoyen de 1789 qui énonce que « Le but de toute association politique est la conservation des droits naturels et imprescriptibles de l'homme. Ces droits sont la liberté, la propriété, la sûreté et la résistance à l'oppression ». Ainsi, l'affirmation du droit de propriété comme l'un des quatre droits naturels et imprescriptibles de l'homme en fait un principe fondateur de la démocratie française. Sa

valeur constitutionnelle a par ailleurs été reconnue en 1982 par le Conseil constitutionnel. La consécration de ce droit de propriété a des implications multiples, notamment concernant les sols.

En effet, la propriété emporte une plénitude de pouvoirs pour le propriétaire d'un bien et induit ainsi le droit d'user, d'abuser et de faire fructifier la chose possédée, selon l'adage bien connu « usus, fructus, abusus ». Par conséquent, la propriété d'une terre entraîne un droit quasi absolu pour le propriétaire et la protection du sol possédé dépend uniquement de celui-ci.

En outre, selon Lionel Bosc⁵, la lecture du Code civil peut laisser à penser que « le sol, et conséquemment sa qualité, est essentiellement considéré soit comme le support du travail – de la terre – dans une société agraire, soit comme le support de constructions notamment d'habitation ». En effet, le rapport de la propriété au sol apparaît donc assez paradoxal dans la mesure où le sol en est l'objet privilégié mais que les qualités de celui-ci ne sont pas ou peu connues. Le sol est largement considéré comme étant uniquement le support de la propriété. Par ailleurs, l'article 552 du Code civil énonce le principe de la propriété tréfoncière, en référence aux tréfonds, soit le fait que « la propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous ». Ainsi, selon ce principe, les sous-sols relèvent de la propriété du propriétaire des sols. La propriété tréfoncière se projette de la même manière que la propriété foncière, selon les limites séparatives des parcelles, sans limite de profondeur. La propriété foncière et la propriété tréfoncière peuvent toutefois être dissociées. Si la propriété tréfoncière permet au propriétaire de faire « toutes les constructions et fouilles qu'il jugera à propos, et tirer de ces fouilles tous les produits qu'elles peuvent fournir », l'alinéa 3 de l'article 552 précise que des dispositions législatives ou réglementaires spéciales peuvent limiter ce droit.

1.1.2. Les sols urbains dans le Code de l'urbanisme

Le droit de l'urbanisme joue un rôle important dans la gestion des sols, en lien avec le droit de propriété mentionné au préalable. En effet, les sols sont régis en partie par le droit de l'urbanisme, qui appréhende essentiellement le sol dans sa fonction de support des constructions et des activités, et pour les usages qui en sont faits. Le sol est assez largement considéré comme une ressource foncière et un potentiel support d'opérations de construction et

⁵ Bosc, L. Propriété et protection des sols. Réflexions civilistes sur la prise en compte de la qualité des sols. *Droit et Ville*, 2017, 84.

d'urbanisme. Dans ce cadre, l'identité et la qualité du propriétaire des sols influent sur l'utilisation de ceux-ci. Le code de l'urbanisme prévoit divers outils et instruments pour réguler et encadrer l'usage des sols, parfois au détriment du caractère absolu du droit de propriété.

Les plans d'occupation des sols (POS) ont tout d'abord été créés par la loi d'orientation foncière de 1967 avec pour objectif de réglementer les usages du sol à l'échelle des communes. Établis pour une dizaine d'années, les plans d'occupation des sols déterminaient un projet d'aménagement urbain pour les communes comprises dans une agglomération de plus de 10 000 habitants, et fixaient des règles d'urbanisme opposables à tous. Les POS définissaient un zonage sur le territoire de la commune, afin d'identifier les secteurs selon leurs caractéristiques et leur évolution potentielle au regard du projet communal. Ainsi, on retrouvait des zones urbaines dont la constructibilité était immédiate, ainsi que des zones naturelles, dont la constructibilité était encadrée. Ces documents étaient par ailleurs révisés et mis à jour tous les 10 à 15 ans. Le règlement du plan d'occupation des sols définissait les dispositions réglementaires applicables pour chaque zone, et notamment les types d'occupation ou d'usage du sol interdits ou soumis à des autorisations particulières, les caractéristiques des terrains et l'emprise au sol. Un coefficient d'occupation des sols (COS) était également déterminé afin d'établir la densité de construction admise. Énoncé à l'ancien article L123-1-5 du Code de l'urbanisme, le COS a été supprimé par la loi pour l'accès au logement et un urbanisme rénové (loi ALUR) de 2014.

La loi Solidarité et Renouvellement urbain du 13 décembre 2000 a créé les Plans locaux d'urbanisme (PLU) pour succéder aux POS, y intégrant davantage d'objectifs environnementaux. Toutefois, certains POS anciens ont été maintenus en vigueur et c'est la loi ALUR de 2014 qui a finalement prévu la disparition de ces documents, déclarés caducs à partir du 31 décembre 2015 dès lors qu'ils n'auraient pas été transformés en PLU (article L174-1 du Code de l'urbanisme).

En droit de l'urbanisme, le droit des sols renvoie aux réglementations opposables à tout projet d'aménagement, de construction ou de travaux. Ces règles sont fixées à l'échelle communale, et leur bonne application est assurée par les services d'application du droit des sols (ADS). Ainsi, le zonage précisé dans le règlement du PLU découpe le territoire communal (ou intercommunal dans le cas d'un PLUi) en plusieurs secteurs qui répondent à des caractéristiques précises et où les usages des sols sont plus ou moins encadrés. L'article L101-2 du Code de l'urbanisme, issu de l'ordonnance n°2015-1174 du 23 septembre 2015 relative à la partie législative du livre Ier du code de l'urbanisme, fixe notamment parmi les objectifs généraux du

droit de l'urbanisme à la charge des collectivités publiques, un objectif de préservation de la qualité des sols et des sous-sols au point 6°. Cependant, la qualité des sols n'est pas énoncée clairement dans les documents d'urbanisme, quelle qu'en soit l'échelle. Seules les caractéristiques superficielles et les modes d'occupation des sols visibles sont retenus.

Le règlement des Plan locaux d'urbanisme est un document majeur qui fixe « les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols » selon l'article L151-8 du Code de l'urbanisme, repris de l'ancien article L123-1-5 du même code. Ainsi, les règlements des Plan locaux d'urbanisme doivent notamment comporter des dispositions spécifiques concernant l'affectation des sols et la destination des constructions, en vertu des articles L151-9 à L151-16 du Code de l'urbanisme. Ce principe de zonage permet d'identifier clairement les secteurs, entre les zones urbaines, les zones à urbaniser, les zones naturelles ou agricoles. L'article L151-9 énonce que le règlement « peut préciser l'affectation des sols selon les usages principaux qui peuvent en être faits ou la nature des activités qui peuvent y être exercées et également prévoir l'interdiction de construire ». Le zonage conditionne ainsi l'utilisation future des sols au regard de leur utilisation précédente. Selon les projets de la commune et les choix politiques déterminés, le règlement pourra être très précis et fixer des règles strictes pour encadrer les projets d'urbanisme, ou au contraire être plus permissif. Toutefois, les caractéristiques des sols urbains, ne sont pas prises en compte et le territoire se retrouve ainsi divisé par une conception cloisonnée qui occulte les différentes vocations que peut avoir un même espace.⁶

Dans les projets urbains, le sol est également appréhendé en tant que surface ou support de constructions et d'activités par les aménageurs. Certains projets d'aménagement sont toutefois concernés par des fouilles archéologiques selon leur emplacement et en vertu des dispositions énoncées par le Code du patrimoine. En effet, l'archéologie préventive vise à éviter les atteintes au patrimoine archéologique présent sur le site du projet. Selon l'emplacement du projet d'aménagement et les potentialités de destruction de vestiges archéologiques de celui-ci, les aménageurs sont contraints de faire réaliser une fouille archéologique préventive ou un diagnostic archéologique. Dans ce cas, les sols et sous-sols sont alors sondés minutieusement afin de déceler tout vestige potentiel et d'en assurer la conservation. L'opération d'urbanisme est conditionnée aux recherches entreprises. Toutefois, il n'existe aucun diagnostic de ce type concernant la qualité des sols. En effet, des études environnementales sont de plus en plus souvent imposées par le droit de l'environnement mais ces études ne portent pas spécifiquement

⁶ Desrousseaux, M. *Reconnaître juridiquement la valeur environnementale des sols urbains*. [eBook]. PUG, 2022.

sur la qualité des sols. Des études pédologiques pourraient être nécessaires à la réalisation de projets urbains, afin de garantir une protection aux sols et à la biodiversité qu'ils abritent, ainsi que la pérennité des aménagements urbains. Le droit ne prévoit aucune disposition en la matière.

Pour finir, le coefficient d'emprise au sol (CES) est un outil qui permet de limiter la quantité de sol occupée par les constructions sur un terrain. Contrairement au coefficient d'occupation des sols qui limitait la densité du bâti, le coefficient d'emprise au sol limite la surface des constructions. L'emprise au sol est définie à l'article R420-1 du Code de l'urbanisme comme « la projection verticale du volume de la construction, tous débords et surplombs inclus ». Cette notion est utilisée en droit de l'urbanisme, afin de déterminer le régime d'autorisation qui s'applique aux projets de constructions prévus. Ainsi, le coefficient d'emprise au sol est fixé par les documents d'urbanisme locaux et permet aux communes ou intercommunalités de limiter l'artificialisation des sols de leur territoire. D'autres coefficients comme le coefficient de biotope peuvent également être imposés par les PLU afin de limiter la constructibilité des terrains⁷.

1.1.3. Le droit de l'environnement

Le droit de l'environnement appréhende quant à lui les sols d'une autre manière. En effet, la question de la pollution des sols est initialement la plus prégnante dans le code de l'environnement. Les évolutions législatives récentes y ont toutefois intégré la reconnaissance des services écosystémiques rendus par les sols ainsi que leur protection.⁸

Tout d'abord, le livre deuxième du Code de l'environnement, consacré aux milieux physiques, traite de deux types de milieux : l'eau et les milieux aquatiques (titre 1) et l'air et l'atmosphère (titre 2). Les sols, quant à eux, ne sont pas abordés dans la rédaction initiale du Code de l'environnement au titre des milieux physiques. Ils ne sont pas protégés au même titre que l'air et l'eau, qui font quant à eux l'objet d'une protection avancée. Pourtant, ce livre deux aurait été propice à l'intégration d'un « corpus normatif cohérent et global relatif à la protection du sol en sa qualité de ressource naturelle »⁹. Nous verrons plus loin les évolutions

⁷ Voir 1.2.1.

⁸ Voir 1.2.1.

⁹ Hermon, C. La protection du sol en droit. *Droit et Ville*, 2017, 84.

contemporaines du droit en la matière, et notamment les apports de la loi Climat et résilience de 2021 qui crée en effet un titre spécifique lié aux sols et aux sous-sols dans ce livre 2 du Code de l'environnement¹⁰.

Les sols sont toutefois évoqués par le droit de l'environnement, à travers plusieurs considérations, et particulièrement au prisme de leur pollution et de leurs usages.

La pollution des sols est encadrée par le livre V du Code de l'environnement au chapitre VI du titre V, créé par la loi ALUR de 2014 et intitulé « Sites et sols pollués ». Toutefois, ces dispositions sont applicables seulement à certains ouvrages ou installations. En effet, la surveillance de la pollution des sols prévue dans le présent chapitre s'applique aux terrains ayant accueilli une installation classée. Ainsi, l'article L556-1 A, en précisant la définition de l'usage retenue dans le chapitre VI, place le sol comme support de cet usage. L'article L556-1 précise qu'en cas de changement d'usage d'un terrain, le maître d'ouvrage qui en est à l'initiative « doit définir des mesures de gestion de la pollution des sols et les mettre en œuvre afin d'assurer la compatibilité entre l'état des sols et la protection de la sécurité, de la santé ou de la salubrité publiques, l'agriculture et l'environnement au regard du nouvel usage projeté ». La gestion de la pollution des sols concernés doit être attestée par un bureau d'études certifié dans le domaine des sites et sols pollués.

Par ailleurs, l'article L125-6 du Code de l'environnement prévoit l'élaboration par l'État de « secteurs d'information sur les sols », lorsqu'une pollution des sols connue nécessite « la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution pour préserver la sécurité, la santé ou la salubrité publiques et l'environnement ». Ces secteurs sont arrêtés par le représentant de l'État dans le département et sont annexés aux plans locaux d'urbanisme sous la forme d'un document graphique. Ainsi, la pollution des sols est encadrée par le Code de l'environnement par le biais de plusieurs dispositifs. La connaissance des sols semble circonscrite à la connaissance et à la gestion de la pollution qu'ils contiennent, souvent dans un objectif de valorisation du foncier urbanisable.

Les évaluations environnementales prescrites par le Code de l'environnement pour certains projets d'aménagement ont pour objectif de fournir une étude de l'état initial de l'environnement, de relever les impacts notables du projet sur cet environnement et de définir des mesures visant à éviter, réduire ou compenser les incidences négatives du projet sur l'environnement. Ces évaluations doivent appréhender l'environnement dans sa globalité et

¹⁰ Voir 1.2.3.

doivent donc couvrir un champ large, ce qui limite leur précision et leur exhaustivité. L'article L122-1 du Code de l'environnement énonce les multiples éléments, dont le sol, qui doivent être étudiés au prisme du projet et de ses incidences potentielles.

Ainsi, force est de constater que les dispositions sur les sols sont éparées. Elles sont dispersées dans différents codes et dans différentes législations, en fonction des usages qui sont faits des sols (le Code rural contient également des dispositions sur les sols). Par ailleurs, on remarque également l'absence de reconnaissance et de protection spécifique de la biodiversité des sols dans les dispositions précitées. La caractérisation des sols et l'étude de leurs spécificités semble dès lors être laissée à l'initiative des collectivités locales, faute de réglementation ambitieuse en la matière. Des évolutions législatives récentes en faveur des sols sont toutefois à retenir.

1.2. Les évolutions législatives en faveur d'une meilleure prise en compte des sols

Ces dernières années, face à l'urgence climatique, certaines dispositions législatives ont évolué en faveur de la protection des sols. Les lois que nous allons étudier ont été porteuses de ces évolutions.

1.2.1. La loi ALUR de 2014

La loi n°2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové, est tout d'abord la loi créatrice des Secteurs d'information sur les sols évoqués précédemment. L'élaboration par l'État des Secteurs d'information sur les sols a en effet été prescrite par l'article 173 de cette loi, et codifiée à l'article L125-6 du Code de l'environnement.

La loi ALUR prévoit également l'intégration des enjeux de biodiversité dans les documents d'urbanisme, en modifiant plusieurs dispositions du Code de l'urbanisme. L'article L122-1-2 du code précité est notamment modifié afin d'intégrer au rapport de présentation des schémas de cohérence territoriale une détermination des besoins « en matière de biodiversité ».

Ainsi, plusieurs notions comme celle de continuités écologiques sont intégrées aux documents d'urbanisme avec cette loi.

Le coefficient de biotope, déjà intégré à plusieurs plans locaux d'urbanisme avant 2014, a été introduit dans le Code de l'urbanisme par la loi ALUR. Cet outil est utilisé pour décrire la proportion des surfaces favorables à la biodiversité, appelées surfaces écoaménageables, par rapport à la surface totale d'une parcelle. Ainsi, l'article 157 de la loi ALUR donne la possibilité aux documents d'urbanisme, notamment aux règlements des PLU, d'« imposer une part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables, éventuellement pondérées en fonction de leur nature, afin de contribuer au maintien de la biodiversité et de la nature en ville ». Ce coefficient de biotope permet ainsi de préserver les sols et leurs fonctions écologiques en limitant les effets de leur anthropisation. Cependant, la méthodologie adoptée par les communes ayant instauré des coefficients de biotope par surface sur leur territoire n'est souvent pas liée directement aux sols et à leurs fonctionnalités, les surfaces écoaménageables pouvant être situées en toiture ou en façade.

Bien que les sols ne soient pas évoqués directement dans ces nouvelles dispositions, la nécessité de préserver la biodiversité et les continuités écologiques en milieu urbain est alors intégrée au Code de l'urbanisme avec la loi ALUR. La préservation des sols est également induite par le coefficient de biotope par surface, mais mérite d'être précisée.

1.2.2. La loi sur la biodiversité de 2016

Tout d'abord, la loi n°2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, a entraîné la modification d'un certain nombre de dispositions législatives, permettant d'intégrer dans le droit français une meilleure prise en compte des ressources des sols. L'article L110-1 du Code de l'environnement, qui introduit les principes généraux du droit de l'environnement, a par exemple été modifié afin d'y ajouter la notion de services écosystémiques générés par la nature, cette dernière faisant elle-même partie du patrimoine commun de la nation et concourant à l'intérêt général. Il est également inscrit au deuxième alinéa de l'article L110-1 que « Les processus biologiques, les sols et la géodiversité concourent à la constitution de ce patrimoine ». Les sols ne sont pas intégrés directement au patrimoine commun de la nation mais y sont associés de manière subsidiaire par cet alinéa.

Une définition de la biodiversité a également été ajoutée à l'article L110-1 du Code de l'environnement dans les termes suivants : « On entend par biodiversité, ou diversité biologique, la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques, ainsi que les complexes écologiques dont ils font partie. Elle comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces, la diversité des écosystèmes ainsi que les interactions entre les organismes vivants ». Cette définition de 2016 est la première définition juridique de la biodiversité.

La notion de continuités écologiques et la nécessité de les préserver et d'en avoir une utilisation durable est intégrée à l'article L110-2 du Code de l'environnement avec la loi de 2016. Dans la même optique, le nouvel article L110-3 expose les modalités d'élaboration de la stratégie nationale ainsi que des stratégies régionales pour la biodiversité, dont l'objectif est de contribuer à intégrer « des objectifs de conservation et d'utilisation durable de la biodiversité dans les politiques publiques ainsi qu'à la cohérence de ces dernières en ces matières ».

La loi sur la biodiversité de 2016 a par ailleurs modifié l'article L111-19 du Code de l'urbanisme, qui traite des projets soumis à autorisation d'exploitation commerciale prévue par le Code de commerce. La version de l'article en vigueur du 1 mars 2017 au 10 novembre 2019 précisait que les projets impliquant la construction de nouveaux bâtiments commerciaux étaient autorisés à condition d'intégrer « sur les aires de stationnement, des revêtements de surface, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation et préservant les fonctions écologiques des sols ». Cette disposition ainsi que la précédente qui imposait d'intégrer un système de végétalisation sur la toiture ou d'y installer des procédés de production d'énergies renouvelables ont été insérées dans l'article L111-18-1 du Code de l'urbanisme par la loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.

Les débats parlementaires autour de l'examen du projet de loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, ont fait ressortir une crainte partagée par plusieurs sénateurs quant à la mention des sols dans la loi. Cette appréhension était relative aux potentielles atteintes au droit de propriété qu'une législation sur les sols pourrait entraîner, et notamment la crainte de l'interdiction de certaines pratiques agricoles, à l'instar des labours. Cela explique la retenue de la loi sur la biodiversité quant aux dispositions relatives à la reconnaissance des fonctions écologiques des sols ainsi qu'à leur préservation.

1.2.3. La loi Climat et résilience et la loi ZAN

La loi n°2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, désignée sous les termes de « loi climat et résilience », a conduit plusieurs changements importants relatifs aux sols. Présentée comme une loi ambitieuse et faisant suite aux travaux de la Convention citoyenne pour le climat qu'elle a vocation à traduire, elle vise d'après l'exposé des motifs du projet de loi à « accélérer la transition de notre modèle de développement vers une société neutre en carbone, plus résiliente, plus juste et plus solidaire voulue par l'Accord de Paris sur le Climat ».¹¹

La loi Climat et résilience de 2021 crée un titre IV « Sols et sous-sols » dans le livre II du Code de l'environnement. Cité précédemment, ce titre II est consacré aux milieux physiques et à leur préservation et traitait initialement uniquement de l'air et de l'eau. L'intégration de ce nouveau titre, consacré aux sols et aux sous-sols témoigne d'un début de reconnaissance de l'utilité des sols et d'une volonté de combler un vide juridique. Composée d'un chapitre unique intitulé « Principes généraux de la protection des sols et des sous-sols », cette nouvelle partie est assez succincte et ne contient que deux articles. L'article L241-1 expose le rôle et les principes de mise en œuvre de la politique nationale de prévention et de gestion des sites pollués. Celle-ci vise ainsi « à prévenir et réduire la pollution des sols et des sous-sols et à assurer la gestion des pollutions existantes. Elle participe d'une gestion équilibrée et durable des sols et sous-sols et tient compte des adaptations nécessaires au changement climatique ». Par ailleurs, le deuxième alinéa de l'article L241-1 précise que les sols dégradés doivent être assainis et remis en état, « de manière à leur restituer un niveau de fonctionnalité au moins compatible avec les intérêts mentionnés à l'article L511-1,¹² au regard de leur utilisation effective et de leur utilisation future autorisée ». Nous pouvons constater à la lecture de cet article que la question de l'usage des sols est toujours prégnante et conditionne en partie la gestion de la pollution de ceux-ci. Ce nouveau titre du livre II du Code de l'environnement apparaît finalement très peu ambitieux et aborde essentiellement les sols et sous-sols au prisme de leur pollution.

¹¹ D'après Seban Avocats, *Loi Climat et résilience : tour d'horizon des dispositions en matière d'urbanisme et d'environnement*, 2021. <https://www.seban-associés.avocat.fr/loi-climat-et-resilience-tour-dhorizon-des-dispositions-en-matiere-durbanisme-et-denvironnement/>

¹² L'article L511-1 du Code de l'environnement expose le champ d'application du titre 1^{er} du Livre V consacré à la prévention des pollutions, des risques et des nuisances, lequel traite des installations classées pour la protection de l'environnement.

L'article L101-2 du Code de l'urbanisme a évolué en 2021 avec l'ajout du ZAN dans les objectifs de l'action des collectivités publiques en matière d'urbanisme. Un objectif 6bis complète l'objectif 6 relatif à la protection des milieux naturels de la manière suivante : « La lutte contre l'artificialisation des sols, avec un objectif d'absence d'artificialisation nette à terme ».

L'artificialisation est définie à l'article L101-2-1 du Code de l'urbanisme comme « l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage ». Ainsi, les fonctions écologiques des sols apparaissent enfin énoncées clairement dans cette définition de l'artificialisation. La réalisation de l'objectif de zéro artificialisation nette doit d'après le texte s'appuyer sur plusieurs éléments, notamment la préservation et la restauration de la biodiversité et de la nature en ville, la renaturation des sols artificialisés, la maîtrise de l'étalement urbain ou encore l'optimisation de la densité des espaces urbanisés. L'artificialisation nette est présentée comme le rapport entre les nouvelles surfaces artificialisées et les surfaces nouvellement désartificialisées. Elle se calcule à l'échelle des documents de planification sur une période donnée.

La loi Climat et résilience, à travers la notion d'artificialisation intègre ainsi pleinement les sols et leurs fonctionnalités dans le Code de l'urbanisme. La première phase prévue par la loi fixe un objectif intermédiaire en prévoyant la division par deux de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers entre 2021 et 2031. A partir de 2031, l'objectif de zéro artificialisation nette s'appliquera, afin d'atteindre l'objectif fixé pour 2050, favorisant en principe une approche plus qualitative des sols.

Dans le sillage de la loi Climat et résilience de 2021, la loi n°2023-630 du 20 juillet 2023 visant à faciliter la mise en œuvre des objectifs de lutte contre l'artificialisation des sols et à renforcer l'accompagnement des élus locaux, dite « loi ZAN », précise les modalités pour atteindre l'objectif Zéro artificialisation nette en 2050. Dans un guide synthétique sur le ZAN émis par le Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, l'importance de réduire l'artificialisation des sols et de préserver les multiples fonctions remplies par ceux-ci sont ainsi expliquées. En outre, les différentes étapes et les moyens d'action à déployer sont détaillés. Ainsi, la deuxième étape de la trajectoire pour atteindre l'objectif de « zéro artificialisation nette » a pour but de « protéger les sols vivants, y compris dans les espaces déjà urbanisés ».

Cependant, cette notion d'artificialisation ne semble pas réellement intégrer la qualité des sols et la loi ne contient pas de définition des notions de « sols vivants » et de « pleine terre ». La Convention citoyenne pour le climat avait pourtant été l'occasion de débats autour de la pleine terre. En effet, certains acteurs souhaitaient retirer les espaces de pleine terre de la comptabilité des espaces artificialisés, proposition qui modifiait largement le calcul de l'artificialisation des sols et qui n'a finalement pas été retenue. La notion de pleine terre existe depuis un certain temps dans les documents d'urbanisme et nombreux sont les PLU qui se sont emparés de cette notion ces dernières années, à travers les coefficients de pleine terre par exemple. Toutefois, faute d'une définition juridique de la notion, les critères d'appréciation et de caractérisation de la pleine terre varient suivant les documents d'urbanisme. En outre, au regard de la grande diversité des sols urbains, l'arrêt d'une définition unique et partagée de la pleine terre apparaît complexe, mais demeure pourtant nécessaire.

Ainsi, faute de diagnostics pédologiques précis, permettant de connaître la qualité et les propriétés des sols, le ZAN semble promouvoir une approche essentiellement comptable des sols. En effet, le ZAN peut être appréhendé comme une restriction forte des surfaces constructibles des territoires et un encadrement accru des nouveaux projets urbains. L'intégration d'une approche qualitative des sols dans les réflexions pourrait permettre d'éclairer les choix des élus en matière d'aménagement du territoire. La note d'orientation du programme POPSU Transitions, accompagnant l'élaboration du PLUm de Tours Métropole Val de Loire, précise que les collectivités ne connaissant pas la qualité de leurs sols ne pourront pas réaliser « des choix éclairés » dans le cadre du ZAN. D'après la même note, la planification urbaine devrait « s'appuyer sur une connaissance la plus sûre possible de la qualité des sols et des fonctions qu'ils remplissent »¹³.

1.3. La protection des sols au niveau international

Au-delà du droit français, le droit international est porteur d'une volonté de reconnaissance et de protection des sols, à travers de multiples dispositions.

¹³ *Note d'orientation*, Tours Métropole Val de Loire / Université de Tours, 29 novembre 2023.

1.3.1. Les dispositions de droit souple

Au niveau international, il existe des dispositions non contraignantes qui reconnaissent l'importance des sols et la nécessité de les protéger.

1.3.1.1. La charte européenne des sols

Tout d'abord, une charte européenne des sols a été adoptée par le Comité des ministres du Conseil de l'Europe le 30 mai 1972. Ce document, préparé par le Comité européen pour la sauvegarde de la nature et des ressources naturelles du Conseil de l'Europe, reconnaît le rôle primordial du sol pour la vie sur terre, et affirme la nécessité d'une gestion durable des sols. L'article 1^{er} de la charte énonce que « Le sol est un des biens les plus précieux de l'humanité. Il permet la vie des végétaux, des animaux et de l'homme à la surface de la terre ». L'article 7 de la charte concerne l'aménagement urbain et précise que : « Toute implantation urbaine doit être organisée de façon qu'elle ait le moins de répercussions défavorables sur les terres avoisinantes ».

Cependant, bien que cette charte soit assez ambitieuse, ses dispositions ne sont pas contraignantes pour les États. Elle se contente de fixer des recommandations relatives à l'usage des sols mais n'a pas de valeur normative. Une révision de la charte en 2003 a permis d'étayer et de développer les principes préalablement énoncés en 1972. Ainsi, le texte de la charte révisée sur la protection et la gestion durable des sols énonce tout d'abord une définition du sol ainsi que la présentation de ses fonctions. Il présente ensuite les différentes formes de dégradation des sols ainsi que leurs effets, des objectifs et principes fondamentaux relatifs aux sols, ainsi que des recommandations pour la gestion future des sols. La charte présente également divers instruments pouvant concourir à une gestion durable des sols.

1.3.1.2. La charte mondiale des sols

Dans une perspective alimentaire, l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO¹⁴) a adopté la Charte mondiale des sols en novembre 1981, lors de sa

¹⁴ FAO : Food and Agriculture Organization.

vingt et unième session. La préface de la charte précise que celle-ci « énonce une série de principes concernant l'utilisation optimale des ressources pédologiques du globe, l'amélioration de leur productivité et leur conservation pour les générations à venir ». Les principes de cette charte appréhendent les sols dans leur usage agricole. Le point 11 précise toutefois un principe applicable à l'aménagement urbain en affirmant que : « L'utilisation de la terre à des fins non agricoles doit être organisée de manière à éviter, dans toute la mesure possible, l'occupation ou la dégradation définitive des sols de bonne qualité ».

La deuxième partie de la charte énonce ensuite les mesures à mettre en œuvre de la part des gouvernements et des organisations internationales ayant adhéré aux principes de la charte. Ces orientations concernent notamment l'information, la surveillance, l'évaluation, l'éducation et la recherche sur les sols.

La présente charte a été révisée à l'occasion de l'année internationale des sols proclamée par l'Assemblée générale des Nations Unies en 2015. Cette révision annonce prendre en compte les nouveaux enjeux des années 2000, et notamment les effets de l'urbanisation croissante sur la disponibilité en sols et sur leurs fonctions.

1.3.1.3. La protection du sol dans les Alpes

Le protocole d'application de la Convention alpine de 1991 concernant la protection des sols est un exemple de coopération entre plusieurs pays, ayant pour finalité la protection des sols. En effet, ce texte a été adopté le 16 octobre 1998 afin de prévenir les atteintes au sol de tous types sur le territoire alpin. La Convention alpine réunit les 8 pays alpins ainsi que l'Union européenne. Le préambule du protocole précise que l'objectif est notamment de « réduire les atteintes d'ordre quantitatif et qualitatif causées aux sols ». Ce protocole est un texte ambitieux qui contient 28 articles répartis en 5 chapitres. Toutefois, le texte n'est pas immédiatement contraignant pour les parties contractantes qui doivent déjà avoir exprimé leur consentement à être liées par le protocole pour que celui-ci entre en vigueur en vertu de son article 27. L'application du protocole dépend ainsi en grande partie des États parties.

La Convention alpine contribue depuis sa création à faire évoluer la connaissance des sols ainsi que leur protection. Le groupe de travail sur la protection des sols est par exemple constitué par mandats successifs de deux ans. Le mandat actuel (2023-2024) se déroule sous la

présidence de l’Autriche et se concentre sur l’« utilisation économique et prudente des sols dans les Alpes, la protection des landes, les données comparables sur les sols, l’éducation aux sols, la sensibilisation et l’échange »¹⁵. Par ailleurs, un plan d’action pour la protection des sols a été adopté en octobre 2022 lors de la 17^e Conférence alpine.

1.3.2. La stratégie de l’Union européenne pour la protection des sols à l’horizon 2030

A l’échelle de l’Union européenne, l’adoption d’une directive visant à protéger les sols n’est pas une idée nouvelle. En effet, une proposition de directive sur les sols avait été élaborée par la Commission européenne en 2006, mais n’avait pas abouti, faute d’avoir recueilli l’accord des États membres.

Dans le cadre de sa stratégie pour la protection des sols à l’horizon 2030 rendue publique en 2021, la Commission européenne a présenté une proposition de directive relative à la surveillance et à la résilience des sols le 5 juillet 2023. Ce texte part du constat de l’état critique d’une grande partie des sols de l’Union européenne et de l’absence de législation spécifique aux sols. Des études récentes affirment en effet qu’entre 60 et 70% des sols de l’Union européenne sont en mauvaise santé, ce qui entraîne des coûts importants pour les États membres et pour l’Union européenne. La proposition de directive s’articule autour de la surveillance de la santé des sols, de la définition de la gestion durable des sols ainsi que de l’évaluation des risques générés par les sols contaminés sur la santé humaine et l’environnement. Elle prévoit d’établir un cadre juridique pour permettre à l’Union européenne de parvenir à « un bon état des sols d’ici 2050 ».

Le 10 avril 2024, à l’issue d’un vote au Parlement européen, la proposition de directive de la Commission relative à la surveillance et à la résilience des sols a été adoptée avec 336 voix pour, 242 voix contre et 33 abstentions. Le texte doit ensuite être soumis au Conseil de l’Union européenne afin d’engager les négociations interinstitutionnelles, puis réexaminé par le nouveau Parlement élu en juin 2024 si le Conseil ne l’adopte pas dans les mêmes termes.

L’adoption de la directive par le Parlement européen marque une étape importante en matière de protection des sols, et s’inscrit par ailleurs dans le cadre du Plan d’action zéro

¹⁵ Site internet de la Convention alpine, www.alpconv.org

pollution adopté par la Commission européenne en 2021, ainsi que dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe, la feuille de route de l'Union européenne en matière environnementale. La mise en œuvre de cette directive dépendra de l'engagement des États membres qui devront la transposer dans leur ordre juridique interne. Ainsi, la transposition de la directive en droit français nécessitera une adaptation des textes de lois existants, notamment le droit de l'environnement, ou la création de nouvelles dispositions législatives. La directive prévoit que les États mettent en place des mesures de surveillance et d'évaluation de la qualité des sols, mais également des mesures de restauration des sols dégradés. Ainsi, selon le déroulé des négociations avec les États membres, et l'issue du second vote au Parlement, le degré de flexibilité qui sera accordé aux États membres dans la mise en application de la directive sera plus ou moins important. Il semble toutefois que cette directive laisse une marge de manœuvre importante aux États pour définir les seuils, les critères et les mesures de surveillance de la santé des sols. La mise en place de régimes de protection ou de gestion durable des sols n'est par ailleurs pas imposée aux États par la directive. Le texte n'étant pas encore définitivement adopté, il faut attendre encore quelques temps pour voir les effets de l'adoption d'une directive européenne sur les sols.

2. L'importance de protéger les sols urbains

Dans le cadre de notre réflexion sur la trame brune comme moyen de pallier l'absence de protection juridique des sols et d'intégrer la préservation des sols dans les documents d'urbanisme, nous étudierons dans cette seconde partie les caractéristiques des sols.

Les sols urbains sont assez peu étudiés, les études portant sur les sols se concentrant pour la grande majorité sur les sols naturels et agricoles, En 2018 en effet, seulement 1% environ des études techniques portant sur le sol avaient pour cible les sols urbains¹⁶.

¹⁶ Guiland, C., Maron, P-A., Damas, O., Ranjard, L., Biodiversity of urban soils for sustainable cities, 2018.

2.1. La multifonctionnalité naturelle des sols limitée en milieu urbain

Les fonctions du sol sur lequel nous vivons ainsi que sa richesse sont assez méconnues en milieu urbain. En effet, la bétonisation massive des villes a entraîné un éloignement des urbains de leur sol et une déconnexion voire une ignorance des enjeux qu'il présente et de son importance. Contrairement au milieu rural où les sols et leurs fonctions essentielles pour l'environnement ont une place importante, du fait des activités agricoles notamment, les sols en milieu urbain sont quasiment invisibles, à l'exception des espaces verts. Pourtant, les sols revêtent une importance majeure et participent massivement à la vie terrestre.

2.1.1. Les sols comme réservoirs de biodiversité

Les sols sont tout d'abord un réservoir de biodiversité assez sous-estimé et largement ignoré par les opérations d'aménagements urbains. En effet, l'atlas européen sur la biodiversité des sols réalisé en 2010 par le Joint Research Centre, affirmait qu'environ un quart des espèces de la planète vivaient dans le sol.¹⁷ Le Joint Research Centre, rattaché à la Commission européenne, a commencé à étudier la biodiversité des sols dès 2008, avec la création d'un groupe d'experts de la biodiversité des sols.

La Convention sur la diversité biologique, adoptée lors du sommet de la Terre en 1992 à Rio, définit dans son article 2 la notion de diversité biologique comme la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ». La définition précise par ailleurs que cette diversité renvoie à la diversité entre les espèces et au sein des espèces, ainsi que dans les écosystèmes. Le terme de biodiversité est issu de la contraction des termes « diversité biologique », en anglais « *biological diversity* ».

Le Joint Research Centre a réalisé plusieurs atlas des sols de différentes régions du monde. Le dernier en date a été publié en 2023 et offre une analyse des sols de l'Asie. Cet atlas contient une définition du sol et de ses enjeux, une classification des types de sols, une cartographie des sols ainsi qu'une explication des problèmes majeurs auxquels ils sont

¹⁷ Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Römbke, J., Putten, W.H. van der. European Atlas of Soil Biodiversity, European Commission, Publications Office of the European Union. 2010, p.4.

confrontés. La biodiversité des sols est évoquée dans l'introduction de l'atlas, et définie comme « la variété de la vie souterraine, depuis les gènes et les espèces jusqu'aux communautés qu'ils forment, ainsi que les complexes écologiques auxquels ils contribuent et auxquels ils appartiennent, des micro-habitats du sol aux paysages »¹⁸. Par ailleurs, l'atlas précise qu'entre 25 et 40% des organismes vivants des écosystèmes terrestres seraient directement associés aux sols à un moment donné de leur cycle de vie.¹⁹ Cette estimation assez vaste illustre toutefois le rôle primordial des sols et le manque de connaissance précise de ces milieux.

Les sols contiennent donc une grande diversité d'organismes, qui sont souvent classés en quatre groupes, déterminés selon la taille des individus. Ainsi, on retrouve par ordre de taille croissant, les micro-organismes, la microfaune, la mésofaune et enfin la macrofaune²⁰. Les micro-organismes présentent une grande diversité et comprennent notamment des bactéries et des champignons. La faune du sol intègre quant à elle l'ensemble des animaux réalisant au moins une partie de leur cycle biologique dans le sol²¹. En outre, les interactions biotiques désignent les interactions des organismes du sol entre eux ainsi qu'avec leur milieu. Ces interactions conditionnent la biodiversité du sol, en déterminant le fonctionnement biologique du sol et en assurant le fonctionnement des écosystèmes²².

¹⁸ Traduit de l'anglais de « Soil Atlas of Asia », 2023, p.28.

¹⁹ Idem, p.28

²⁰ Vincent, Q., Auclerc, A., Leyval, C., *La biodiversité des sols*, Encyclopédie de l'environnement, 2023.

²¹ Vincent, Q., Etude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés, Université de Lorraine, 2018, p.43.

²² Les rôles de la biodiversité des sols, Qubs, 2022. <https://www.qubs.fr/les-roles-de-la-biodiversite-des-sols>

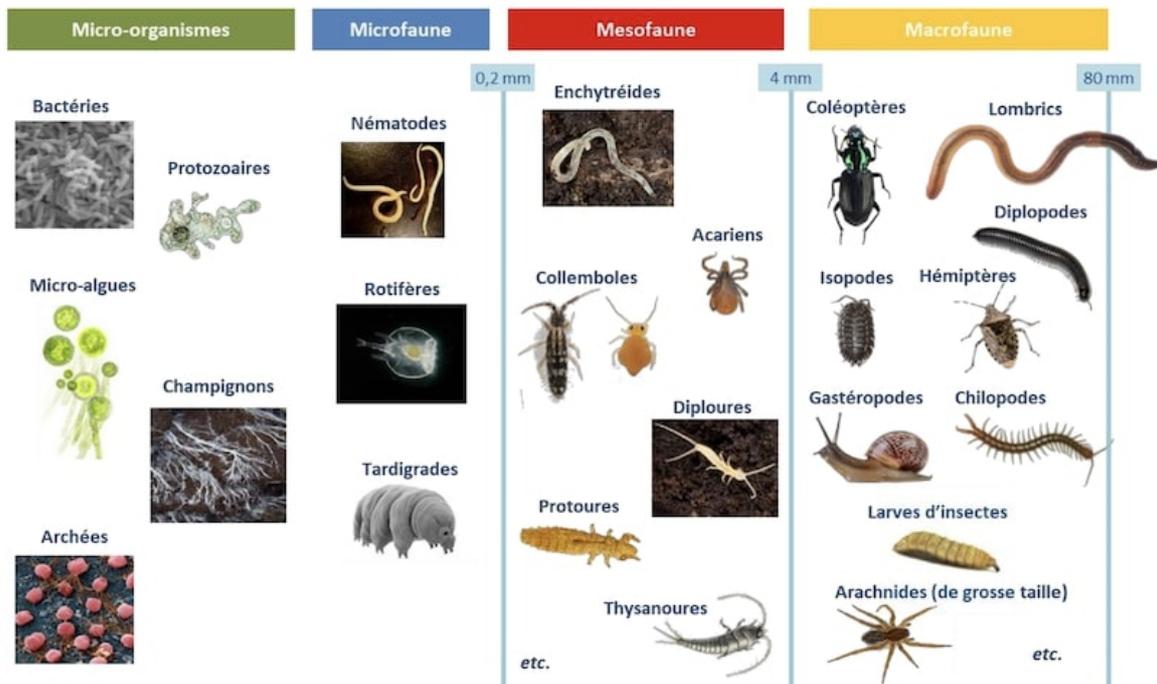


Figure 3 : Schéma des différents groupes de la biodiversité du sol classés par taille. Source : Vincent, Q., « Étude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés ». Université de Lorraine (2018).

Formidable réservoir de biodiversité, le sol est une ressource essentielle à la vie sur terre. La richesse biologique du sol est à l'origine de la structuration du milieu et de son fonctionnement équilibré. Les sols remplissent en effet plusieurs fonctions, et notamment des fonctions écologiques, réalisées grâce aux organismes qui les composent.

2.1.2. Les services écosystémiques rendus par les sols

Les sols urbains, malgré leur anthropisation forte, sont à l'origine de services écosystémiques essentiels au bien-être des sociétés humaines²³.

Les services écosystémiques évoqués ici désignent les multiples services rendus à la société par la biodiversité. Ces services sont regroupés en quatre catégories, et l'on distingue les services d'approvisionnement, de régulation, d'auto-entretien ou de support et les services culturels. La notion de services écosystémiques a été popularisée dans le cadre du Millenium

²³ Vincent Q., Mangin N., Rigolot R. et Blanchart A., Étude de la biodiversité des sols (macrofaune épigée) urbains et péri-urbains dans le cadre de la création d'une trame brune, Étude et Gestion des Sols, 2022, p. 277

ecosystem assessment (MEA) des Nations Unies en 2005. Elle est définie dans le chapitre premier du rapport de la manière suivante :

« Les services écosystémiques sont les bénéfices que l'Homme tire des écosystèmes. Il s'agit notamment des services d'approvisionnement, tels que la nourriture et l'eau ; des services de régulation, tels que la régulation des inondations, de la sécheresse, de la dégradation des sols et des maladies ; des services de support, tels que la formation des sols et le cycle des nutriments ; et des services culturels, tels que les activités de loisirs, spirituelles, religieuses et d'autres avantages non matériels »²⁴.

Il est par ailleurs énoncé dans le quatrième chapitre du rapport, portant sur la biodiversité, que les services écosystémiques sont obtenus seulement si les écosystèmes incluent la biodiversité, cette dernière garantissant les processus fonctionnels nécessaires à ces services.

En 2012, le ministère de l'Écologie et du Développement durable crée l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (Efese), soit une plateforme qui mêle science, décision et société, avec pour objectif de mieux faire connaître l'état de la biodiversité et d'en renforcer la prise en compte dans les politiques publiques ainsi que dans les décisions privées. L'Efese décline ainsi à l'échelle nationale des objectifs similaires à ceux de la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES). Elle constitue par ailleurs une réponse de la France à ses engagements dans le cadre de sa deuxième stratégie nationale pour la biodiversité (2011-2020).

Parmi les services écosystémiques, la fonction de séquestration de carbone peut être associée au service de régulation du climat. En effet, les sols agissent comme des puits de carbone et jouent ainsi un rôle déterminant face au changement climatique. L'érosion de la biodiversité et la diminution de l'activité biologique des sols restreignent toutefois fortement leurs capacités de séquestration du carbone. Par ailleurs, les altérations directes du sol, notamment les travaux et l'imperméabilisation, entraînent une libération du carbone stocké dans les 30 premiers centimètres du sol (Cerema).

Les sols jouent également un rôle crucial en matière d'infiltration de l'eau, fonction importante pour lutter contre les inondations en milieu urbain. La capacité des sols à absorber les eaux pluviales et à limiter ainsi leur ruissellement, dépend fortement de la biodiversité qu'ils

²⁴ Traduit de l'anglais de : Millenium Ecosystem Assessment, Volume 1 : Current State & Trends, Chap 1, p.27.

concentrent. En effet, les vers de terre jouent un rôle clé dans la régulation de l'eau en modifiant la porosité du sol²⁵. Dans cette logique de fonctionnalité des sols, et notamment au regard de la fonction d'infiltration de l'eau, les végétaux présents dans le sol sont également à prendre en compte. En effet, les racines provenant de la flore de surface assurent elles-aussi d'importantes fonctions dans le sol en produisant une quantité importante de biomasse et en absorbant une partie de l'eau de pluie.

Enfin, il apparaît que la capacité du sol à fournir des services écosystémiques, en dépendant de la diversité biologique qu'il contient et des interactions entre les organismes, est déterminée par sa qualité. Ainsi, les capacités des sols urbains à fournir des services écosystémiques sont différentes de celles des sols naturels, et sont souvent altérées par les activités humaines²⁶. Ce concept de services écosystémiques a permis selon plusieurs chercheurs, de faire évoluer la prise en compte des sols, « en mettant l'accent sur leur rôle positif au bénéfice de l'homme et sur leur multifonctionnalité »²⁷.

2.1.3. Les sols urbains à l'heure du ZAN

Le Zéro artificialisation nette (ZAN) présente de nouveaux enjeux relatifs à la préservation des sols urbains et de leurs propriétés. L'artificialisation des sols étant présentée comme l'une des causes de l'érosion de la biodiversité et de l'altération de la qualité des sols, il apparaît aujourd'hui nécessaire de la limiter. Le ZAN énonce le besoin de relier l'occupation des sols ainsi que leurs usages aux fonctions et aux services rendus par les sols.

La loi Climat et résilience du 22 août 2021, en affirmant l'objectif de zéro artificialisation nette à l'horizon 2050, fixe des objectifs de renaturation d'espaces à proportion égale des espaces artificialisés. Cette loi propose d'appréhender les sols dans leur profondeur et non plus comme seules surfaces et supports d'usages. En effet, la loi prévoit des mesures en faveur de la nature en ville et du maintien des continuités écologiques, qui impliquent de s'intéresser aux sols dans leur dimension qualitative et pour leurs propriétés. Le coefficient de

²⁵ Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D. and Brun, J.-J. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Eur J Soil Sci*, 2013, p.165.

²⁶ Morel, J.L., Chenu, C., Lorenz, K., Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs), *Journal of Soils and Sediments*, vol. 15, 2015, p. 1660.

²⁷ Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langlais, A., Schwartz, C. Les services écosystémiques des sols : du concept à sa valorisation. *Cahiers Demeter*, 15, 2015, p.67.

biotope par surface évoqué précédemment, permet notamment de définir « la part de surface éco-aménagée, végétalisée ou favorable à l'écosystème, sur la surface totale d'une parcelle concernée par un projet de construction » d'après l'article 201 de la loi Climat et résilience.

La désartificialisation ou renaturation d'un sol consiste d'après la loi de 2021, « en des actions ou des opérations de restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol, ayant pour effet de transformer un sol artificialisé en un sol non artificialisé ». Ainsi, la connaissance du sol et de ses fonctions est essentielle à la réalisation de telles opérations de renaturation. Toutefois, il n'existe pas de définition juridique du sol par référence à l'altération de ses fonctions, ce qui limite la portée de cette disposition.

Par ailleurs, au regard des enjeux posés par le ZAN, et dans un contexte de raréfaction du foncier disponible, une connaissance du sol et de ses qualités apparaît nécessaire aux collectivités pour une bonne gestion de leur territoire. En effet, la qualité des sols devrait pouvoir être prise en compte afin de déterminer les sols à préserver prioritairement, une telle mesure requérant cependant des moyens techniques importants.

Enfin, dans ce contexte de limitation forte de l'artificialisation du sol et de préservation des fonctions de celui-ci, la notion de pleine terre semble intéressante à étudier. En effet, l'importance de la biodiversité des sols ayant déjà été démontrée, les sols urbains non artificialisés constituent des habitats pour celle-ci. Ainsi, l'intégration de la notion de pleine terre dans les documents d'urbanisme de certaines communes permet d'appréhender les sols sous le prisme de leurs fonctions et des services qu'ils rendent. Dans le cadre du projet MUSE²⁸, le Cerema a réalisé une note sur la notion de pleine terre et en propose la définition suivante : « La pleine terre est un sol urbain en capacité d'exercer tout ou partie des fonctions associées à un sol naturel. Le sol de pleine terre n'a pas forcément d'équivalent en milieu naturel ». La note précise par ailleurs que dans de tels espaces, la continuité entre le sol et le sous-sol doit être assurée²⁹. Ainsi, cette notion propose une approche qualitative des sols, essentielle dans un contexte de limitation de l'artificialisation et face à la nécessité de préserver les sols. Les outils aux mains des collectivités pour intégrer la pleine terre dans les documents d'urbanisme seront étudiés dans une prochaine partie³⁰.

²⁸ Le projet MUSE vise à aider les collectivités à intégrer la multifonctionnalité des sols dans leurs documents d'urbanisme

²⁹ Cerema, La pleine terre, une notion à préciser dans la planification. Projet Muse. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2022/05/3.5_note_pleine_terre.pdf

³⁰ Voir 3.3.3.3.

2.2. La diversité des sols urbains

Les sols que l'on retrouve en milieu urbain sont très variés. En effet, selon les activités et usages que l'on peut retrouver sur ces sols, leurs caractéristiques vont être différentes. La biodiversité présente pourra varier, tout comme les taux de pollution et les propriétés physico-chimiques du sol. Nous tenterons dans cette partie, de donner un aperçu de cette variété de sols urbains, en nous fondant notamment sur les référentiels pédologiques français et international, ainsi que sur les travaux de recherche sur les SUITMAS³¹ (Soils in Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military areas). Nous distinguerons deux grands types de sols présents en milieu urbain, les sols pseudo-naturels et les sols plus fortement anthropisés et artificialisés.

2.2.1. Les sols pseudo-naturels

La catégorisation des sols intitulée SUITMA, a été proposée par l'Union internationale de sciences du sol en 1998, et classe les sols rencontrés dans les zones artificialisées selon l'influence opérée par l'homme. Les SUITMAS désignent ainsi les sols sur lesquels l'homme exerce une pression forte et sont classés selon leur aptitude à accueillir de la végétation.

Les sols pseudo-naturels sont les sols dont les caractéristiques naturelles n'ont pas été trop altérées, malgré leur présence en milieu urbain. Ainsi, leurs caractéristiques demeurent proches de celles des sols naturels et ils peuvent être assimilés aux sols observés en milieu agricole et forestier, malgré un tassement et la présence d'artefacts, signes de l'intervention humaine. Ces sols pseudo-naturels peuvent notamment se retrouver dans les jardins publics et privés, les terrains supports d'agriculture urbaine ainsi que les forêts urbaines. On observe souvent sur ces sols une intervention humaine forte, qui se traduit par leur enrichissement en matière organique via des apports de compost³².

La formation des sols en milieu urbain suit initialement le processus naturel de formation des sols. Les facteurs intervenant dans la pédogénèse étant le relief, la géologie, la

³¹ Morel, J.L., Sere, G., Auclerc, A., Schwartz, C., Leguedois, S., Watteau, F. Les sols de l'environnement urbain : caractéristiques, services et problèmes liés à leur étude, Bulletin BGS 35, 2014.

³² S.Joimel, B.Grard, L.Vieublé Gonod, C.Chenu, Le fonctionnement écologique des villes : et si on pensait aux sols ?, Métropolitiques, 13 mai 2021.

biodiversité, le climat et le temps, leur variabilité explique les différents types de sols. Toutefois, en milieu urbain, le facteur anthropique se superpose aux facteurs initiaux de constitution des sols, entraînant une modification du profil naturel des sols.

2.2.2. Les anthroposols et technosols

Plusieurs classifications se recoupent en ce qui concerne les sols fortement anthropisés. En effet, le référentiel pédologique français, actualisé en 2008 et publié par l'Association française pour l'étude du sol (AFES), propose une classification différente de celle proposée en 2006 par la World Reference Base for Soil Resources (WRB).

Le référentiel pédologique présente une classification très détaillée des sols. Concernant les sols spécifiques aux milieux urbains, du fait de l'activité bâtitrice des hommes, la notion d'anthroposols est retenue et désigne les « Solums très fortement transformés par les activités humaines (apports répétés de matériaux allochtones, aménagement en terrasses) ou accumulation de matériaux artificiels sur au moins les 50 premiers centimètres ou matériaux terreux déplacés ». Ces anthroposols sont ensuite classés en plusieurs catégories, déterminées spécifiquement au regard de l'action de l'homme. On distingue ainsi les anthroposols transformés, artificiels, reconstitués, construits et archéologiques.

La classification de la WRB propose quant à elle une classification entre anthroposols et technosols. Les technosols sont considérés comme tels d'après la WRB, s'ils contiennent un matériau technique dur à moins de 5 cm ou une quantité importante d'artefacts à moins de 100 cm³³. Les technosols définis correspondent à certains anthroposols décrits par le référentiel pédologique français. Ainsi, les anthroposols artificiels et construits répondent à la définition des technosols de la WRB. Selon le référentiel pédologique français, les anthroposols artificiels « résultent entièrement d'apports par l'homme de matériaux variés », tandis que les anthroposols construits « sont issus des opérations de « génie pédologique » : actes volontaires de fabrication d'un « sol » avec des objectifs précis, en particulier pour obtenir un milieu aussi fertile que possible dans le cadre d'opérations de végétalisation ».

³³ Traduit de l'anglais de Schad, P. Technosols in the World Reference Base for Soil Resources – history and definitions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2018, 64(2).

Aujourd'hui, la notion de technosols est assez largement reprise en France, et désigne des sols fortement influencés ou modifiés par les activités humaines de nature technique. Ainsi, cette notion renvoie à des sols fabriqués à partir de matériaux et de déchets divers, qui sont généralement des déchets organiques. Les technosols que l'on retrouve en milieu urbain sont également affectés par plusieurs facteurs d'artificialisation, tels que la compaction, l'excavation, la pollution et bien d'autres. Ces facteurs sont liés à la succession d'usages sur les sols urbains, et influencent fortement les fonctions de ces sols. En effet, plus un sol est artificialisé, plus sa multifonctionnalité s'amenuise. Ainsi, un sol scellé, comme on en retrouve beaucoup en milieu urbain, n'est pas multifonctionnel³⁴.

2.2.3. Reconnaître la valeur des sols urbains

Les sols urbains sont pour la plupart des sols reconstitués, ce qui ne doit pourtant pas conduire à les considérer comme des sols sans valeur. En effet, des sols qui ne sont pas naturels peuvent être très fonctionnels et inversement, des sols naturels peuvent l'être peu. Par ailleurs, les sols urbains jouent un rôle important dans la qualité de vie des habitants et revêtent une dimension collective³⁵. Non seulement les sols urbains « libres »³⁶ offrent-ils des espaces collectifs et de partage aux habitants de la ville, mais ils sont également porteurs de nature en ville. La valeur environnementale des sols urbains apparaît d'autant plus importante au regard des défis auxquels les villes font face dans un contexte de réchauffement climatique. La reconnaissance de la rareté de ces sols pourrait également être un moyen d'assurer leur préservation. En effet, selon Maylis Desrousseaux, la notion de rareté est importante en droit car elle donne au juge un critère de protection³⁷.

Les sols urbains « libres » à l'instar des friches ou des dents creuses, sont souvent considérés comme des espaces à urbaniser en priorité du fait de leur localisation en zone U (urbaine) ou AU (à urbaniser) dans les règlements des plans locaux d'urbanisme. Ainsi, la valeur des sols urbains est assez largement déterminée par leur constructibilité, en tant que foncier disponible. Toutefois, la reconnaissance de la valeur patrimoniale, écologique et sociale des

³⁴ D'après l'intervention de Philippe Branchu, chercheur référent eau, sol, nature au Cerema, lors d'une journée d'information du CAUE 92 le 2 juin 2022.

³⁵ Desrousseaux, M. *Reconnaître juridiquement la valeur environnementale des sols urbains*. [eBook]. PUG, 2022.

³⁶ Par oppositions aux sols recouverts par des constructions et aux sols scellés.

³⁷ D'après un entretien en date du 13 juin 2024.

sols devrait permettre de mieux intégrer la question des sols dans les projets d'aménagement. L'ouvrage *Terre Terrain Territoire*, réalisé par l'agence ANMA Architectes Urbanistes dans la lignée de l'exposition éponyme, interroge notamment les liens entre l'écologie (via la notion de terre) et l'économie de l'aménagement (par la notion de terrain), en passant par la politique et le projet (notion de territoire). L'ouvrage interroge les différentes manières d'attribuer de la valeur aux sols, à la croisée des enjeux économiques, sociaux, écologiques, culturels et politiques.

2.3. Les indicateurs de la qualité des sols

Afin d'optimiser les services fournis par les sols aux sociétés humaines et pour pérenniser les aménagements urbains, il est nécessaire que l'usage qui est fait des sols soit compatible avec leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques³⁸. Nous allons ainsi dans cette dernière partie, étudier des outils et indicateurs ayant pour objectif d'étudier les propriétés des sols et leur qualité. Nous retiendrons pour notre étude l'outil Quali'ZAN et l'IQSB-PRO, deux outils destinés aux professionnels de l'aménagement.

2.3.1. L'outil Quali'ZAN

Quali'ZAN est un outil d'aide à la décision développé par les établissements publics d'aménagement EpaMarne-EpaFrance, en partenariat avec la start-up Sol & Co. Il vise à répondre à un besoin à la fois stratégique et opérationnel dans un contexte de sobriété foncière.

Laurent Girometti, directeur général des EPA, a présenté cet outil dans un article du Journal du Grand Paris publié en 2023. Il explique que le principe de Quali'ZAN est de « mettre en regard des critères reflétant la qualité urbaine d'un projet d'un côté avec les objectifs de préservation des sols et de leurs qualités hydrologiques, pédologiques [reflétant la qualité des sols], etc. de l'autre ». Cet outil se base sur plusieurs indicateurs qui permettent de calculer des scores pour les catégories suivantes : sobriété foncière et intensité urbaine, préservation du fonctionnement écologique des sols, qualité paysagère et potentiel fertile. Ainsi, l'objectif est

³⁸ Blanchart, A. *Mieux connaître les sols urbains*, Urbanisme, 2024, n°435, p.37.

de considérer le sol comme une donnée d'entrée pour déployer une approche plus fine de la notion d'artificialisation.

L'outil Quali'ZAN a une visée opérationnelle et a pour ambition d'aller au-delà d'une approche « surfacique » du ZAN, en prenant en compte les fonctionnalités écologiques des sols dans les pratiques d'aménagement. L'outil attribue un score aux projets d'aménagement, sur la base de plusieurs données d'entrée renseignées en amont et comparées avec un référentiel. La plupart des données d'entrée à renseigner sont des surfaces, mais certaines données sur la conservation et les propriétés des sols nécessitent la réalisation de sondages pédologiques. L'idée est ainsi de permettre un ajustement des scénarios d'un projet, suivant plusieurs sous-finalités définies pour chaque score, afin de préserver au mieux les équilibres écologiques en place. A ce jour, Quali'ZAN a été appliqué à plusieurs projets test menés par l'EPA.

L'objectif de l'EPA Marne est de rendre cet outil appropriable pour tous les acteurs de l'aménagement qui souhaiteraient s'en saisir. Un des enjeux est donc d'avoir un outil simple d'accès et d'utilisation, avec des données d'entrée et des indicateurs mobilisables facilement. Ces données d'entrée et la constitution d'un référentiel assez développé nécessitent des études approfondies des sols et une implication importante des acteurs du projet.

La version 2 de Quali'ZAN est en cours d'élaboration, dans l'objectif d'adapter la cohérence de la version 1 au regard des nouveaux besoins et des outils d'aide à la décision notamment. Ainsi, la deuxième version vise par exemple à intégrer des données sur la renaturation.

2.3.2. L'Indice de Qualité des Sols Bruxellois (IQSB-PRO)

L'indice de qualité des sols bruxellois, IQSB-PRO est un outil permettant d'intégrer la qualité des sols dans la conception de projets urbains. Cet outil est à destination des professionnels de l'urbanisme et décrit l'état qualitatif des sols d'un terrain grâce aux résultats d'analyses et de tests effectués sur des échantillons de sol. L'indice de qualité des sols bruxellois est présenté comme un outil complémentaire aux obligations induites par la loi en matière de pollution des sols. Il a été développé par Bruxelles environnement, l'Administration de l'Environnement et de l'Energie de la région de Bruxelles-capitale, et s'inscrit dans la stratégie

Good Soil, qui vise à protéger et améliorer la qualité des sols dans la région. Ainsi, l'objectif affiché sur le site de Bruxelles environnement est le suivant :

« Essayer d'affecter les sols de meilleure qualité au développement de la nature et la biodiversité, l'agriculture, la séquestration du carbone, l'infiltration des eaux pluviales et les sols de moins bonne qualité à des constructions de bâtiments, des routes... »

En pratique, la détermination de l'IQSB résulte de la réalisation d'une étude du sol par un bureau d'études expert en sols. Les étapes suivantes sont imposées au bureau d'études pour l'exécution du rapport : identification des zones homogènes sur le site, prélèvement des échantillons de sol et relevé des observations de terrain, mesures sur le terrain et analyses en laboratoire des échantillons, analyse des services écosystémiques potentiels sur le site et calculs de l'indice de qualité des sols pour chaque zone et de manière globale. La valeur de l'IQSB est déterminée en pourcentage. Selon le score obtenu, les terrains étudiés seront classés en 5 classes, la classe A correspondant aux sols de bonne à très bonne qualité ; la classe B aux sols de moyenne à bonne qualité ; la classe C1 aux sols de moyenne qualité mais à haute valeur ajoutée ; la classe C2 aux sols de faible qualité et dégradés, nécessitant un traitement pas réalisable dans l'immédiat du fait des usages du terrain ; et enfin la classe D qui correspond aux sols de faible qualité et dégradés nécessitant un traitement.

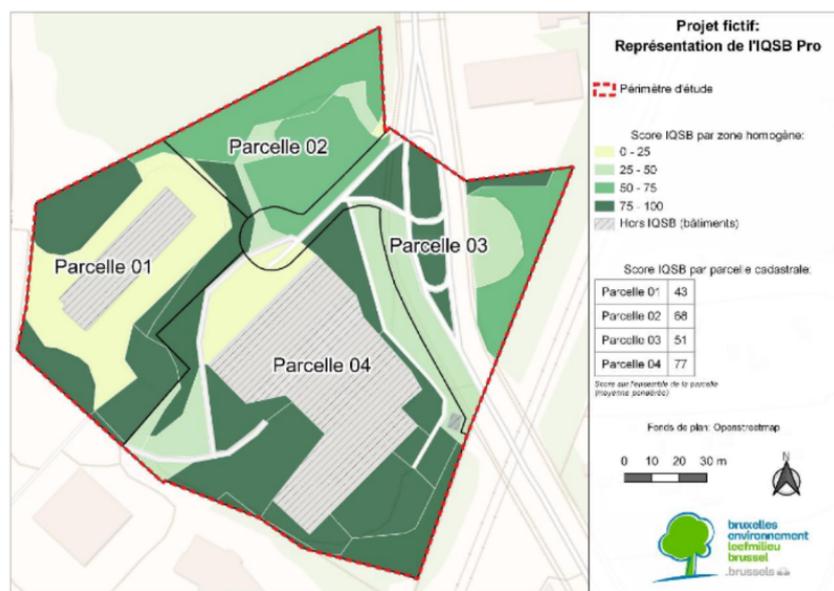


Figure 4 : Exemple de représentation de l'indice IQSB-PRO pour un cas fictif. Source : Good Soil IQSB professionnels - Guide Indice de la qualité des sols, Bruxelles environnement (2022).

2.3.3. Les projets MUSE et DESTISOL

Le projet MUSE est un projet qui a été mené avec pour objectif de créer un outil à destination des collectivités, afin de leur permettre d'avoir des connaissances sur la qualité de leurs sols et d'intégrer la multifonctionnalité de ceux-ci dans les documents d'urbanisme. Piloté par le Cerema en collaboration avec plusieurs partenaires, ce projet de recherche a également été cofinancé par l'Ademe et soutenu par le Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires.

Ce projet a permis de développer une méthode pour calculer l'indice de multifonctionnalité des sols, sur la base des données existantes. Quatre indicateurs sont utilisés et étudient quatre fonctions majeures exercées par les sols. L'indicateur d'infiltration de l'eau dans le sol renvoie à la fonction de régulation de l'eau ; l'indicateur d'abondance et de diversité lombricienne renvoie à la fonction de réservoir de biodiversité du sol ; le potentiel agronomique est l'indicateur rattaché à la fonction source de biomasse et enfin l'indicateur de stock de carbone organique qui renvoie à la fonction de réservoir de carbone. Chaque indicateur étudié donne lieu à une note et les quatre notes sont ensuite additionnées afin de déterminer l'indice de multifonctionnalité des sols analysés. Ainsi, cet outil a pour objectif d'éclairer les collectivités et les acteurs de l'aménagement sur les sols du territoire. Il a été appliqué à trois sites test : Nantes Métropole, la Métropole Aix-Marseille-Provence et Châteauroux Métropole. L'échelle d'étude est assez large et fournit une connaissance de la qualité des sols mobilisable dans les SRADDET ou les SCoT, nécessitant une analyse plus fine à l'échelle des PLU(i). Bien que le projet de recherche se soit achevé en 2022, la méthode évolue encore afin d'être la plus opérationnelle possible et appropriable facilement par les collectivités.

Le projet de recherche et développement DESTISOL, sélectionné par l'Ademe et piloté par la société SCE en partenariat notamment avec le Cerema, avait pour objectif de « proposer une méthodologie d'aide à la décision afin de fournir aux acteurs de la programmation urbaine (aménageurs, établissements publics, collectivités locales...), dans les phases de conception « amont » de leurs projets, des recommandations en matière d'usages ou de destinations à

donner aux sols urbains disponibles »³⁹. Ce projet a donné lieu à la publication d'un guide par l'Ademe, intitulé *DESTISOL : Les sols, une opportunité pour un aménagement urbain durable*. L'objectif était d'interroger les parcelles à aménager à partir d'un diagnostic de terrain, afin d'organiser les projets de manière à préserver les sols. La compatibilité du sol avec différents usages devait être en effet testée, à l'instar des services éco-systémiques rendus par le sol. Toutefois, cet outil d'aide à la décision requiert des données assez précises qui impliquent la réalisation de diagnostics poussés des sols, dont le coût peut dès lors s'avérer élevé. La sensibilisation des acteurs de l'aménagement à la préservation des sols apparaît alors primordiale car la connaissance des enjeux pourrait pousser à la réalisation volontaire d'études pédologiques, du moment que ces études ne sont pas rendues obligatoires.

3. La notion de trame brune pour préserver les sols urbains

La trame brune est une notion de plus en plus étudiée et évoquée à différentes échelles de la planification urbaine. L'émergence de la notion semble résulter de l'intérêt croissant des différents acteurs de l'aménagement ainsi que du grand public pour les sols et pour leur préservation. En particulier depuis l'avènement du ZAN, les sols sont appréhendés de plus en plus comme une ressource à préserver.

3.1. Tentative de définition de la notion

La trame brune n'est pas définie juridiquement. Par ailleurs, cette notion étant récente, elle fait l'objet de plusieurs définitions scientifiques qui sont pour la plupart vouées à évoluer ou à s'adapter à l'état de la recherche ainsi qu'à la connaissance des sols urbains.

3.1.1. La trame brune, une trame consacrée au sol

³⁹ Cerema, *Le projet de recherche DESTISOL*, 17 mars 2014. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-recherche-destisol>

La trame brune est un concept inspiré de la trame verte et bleue, mais qui n'est pas encore bien identifié dans la littérature scientifique et encore moins dans le droit. Cette trame d'une nouvelle couleur vient s'ajouter aux trames écologiques existantes et porte comme ambition d'intégrer la préservation de la biodiversité des sols dans les réflexions urbanistiques et dans les opérations d'aménagement urbain.

L'étude d'une potentielle trame brune suppose de comprendre au préalable ce que l'on entend par le terme de « trame ». Les écologues définissent les trames comme des espaces en réseau, destinés à la circulation des espèces vivantes et en particulier de la faune. Ainsi, ces trames sont identifiées afin de limiter la fragmentation écologique, phénomène à l'origine d'une réduction des habitats disponibles et de leur taille, mais également à l'origine d'une réduction de la connectivité entre ces habitats⁴⁰. En effet, la fragmentation des milieux naturels, du fait de l'isolement des espèces et de la perte de connectivité qu'elle entraîne, est l'une des principales causes d'érosion de la biodiversité. Selon Vanessa Rael, responsable d'études biodiversité et aménagement au Cerema, ces trames sont des outils d'aménagement durable permettant de préserver et de remettre en bon état les continuités écologiques⁴¹. La notion de continuité écologique est issue de la Directive cadre sur l'eau adoptée par l'Union européenne en 2000⁴², et a été intégrée dans le Code de l'environnement, lequel définit notamment les obstacles à ces continuités écologiques. De manière générale, les continuités écologiques sont constituées « d'un maillage d'espaces naturels ou semi-naturels nécessaires au cycle de vie des espèces animales et végétales, c'est-à-dire l'alimentation, la reproduction, les déplacements »⁴³. En milieu terrestre, ces continuités sont composées de réservoirs de biodiversité et de corridors écologiques.

La trame brune selon l'Union professionnelle du génie écologique :

⁴⁰ *Trames et continuités écologiques*. (2022). Géoconfluences. https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/trames-et-continuite-ecologique/@/@/download_pdf?id=trames-et-continuite-ecologique&uid=461ac6f2cbb246e6ae312a6a841b6405

⁴¹ Cerema, *Reconnecter les milieux naturels et favoriser le déplacement des espèces : le traitement des trames écologiques par le Cerema*. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reconnecter-milieux-naturels-favoriser-deplacement-especes-0>

⁴² La directive introduit la notion de continuité écologique des cours d'eau et fixe un objectif de bon état des cours d'eau.

⁴³ Idem note 41.

Selon l'Union professionnelle du génie écologique⁴⁴, la trame brune est un outil qui devrait permettre de répondre à plusieurs enjeux écologiques, tels que la préservation globale de la biodiversité, mais également l'intégration des sols ainsi que leurs fonctionnalités dans les projets d'aménagement. Cet outil devrait ainsi permettre de combler un manque, en intégrant les sols comme entités à part entière dans les documents de planification territoriale. En outre, la note de cadrage sur la trame brune, proposée par le groupe de travail Sols et génie écologique de l'UPGE, précise que la définition de cette trame ainsi que sa mise en œuvre sont indissociables de la trame verte et bleue et doivent se faire en lien avec celle-ci, afin de favoriser une compréhension globale et fonctionnelle de la biodiversité à l'échelle des territoires. La proposition de définition formulée par ce groupe de travail est la suivante :

« La Trame brune (TBr) est constituée par l'ensemble tridimensionnel des éléments biotiques et abiotiques constituant des sols permettant d'assurer les fonctions et continuités écologiques nécessaires aux organismes réalisant tout ou partie leur cycle de vie dans la pédosphère. »

Les facteurs biotiques renvoient aux interrelations entre les organismes et entre les espèces dans un même milieu naturel et sont ainsi « déterminés par la présence, à côté d'un organisme, d'organismes de la même espèce ou d'espèces différentes, qui exercent sur lui une concurrence, une compétition, une prédation, un parasitisme, et en subissent à leur tour l'influence »⁴⁵. Les éléments abiotiques quant à eux, sont indépendants des êtres vivants et sont « représentés par les phénomènes physico-chimiques (lumière, température, humidité de l'air, composition chimique de l'eau, pression atmosphérique et hydrostatique, structure physique et chimique du substrat) »⁴⁶.

Le rapport de l'UPGE énonce par ailleurs des ébauches de définition ayant participé à l'élaboration de la définition précitée, notamment d'une qui caractérise la trame brune comme « l'ensemble des réservoirs et corridors pédologiques permettant aux sols d'exercer tout ou partie de leurs fonctions écologiques, dont celle d'habitat et de continuité pour le cycle de vie des espèces dont le milieu de vie est principalement la pédosphère ». Cette proposition semble faire référence aux fonctions écologiques des sols autres que celles strictement liées à la biodiversité des sols, et donne ainsi une vision plus ouverte de la notion de trame brune. En

⁴⁴ *Trame brune*. (2021). Union professionnelle du génie écologique. <http://www.genie-ecologique.fr/wp-content/uploads/2022/03/Note-de-cadrage-Definition-de-la-trame-brune-v5.pdf>

⁴⁵ Cesare F. SACCHI. MILIEU, écologie [en ligne], Encyclopædia Universalis. <https://www.universalis-edu.com/encyclopedie/milieu-ecologie/2-facteurs-biotiques-et-facteurs-abiotiques>

⁴⁶ Idem.

outre, la trame brune telle qu'appréhendée par l'Union professionnelle du génie écologique concerne tous types de sols et contiendrait une « description cartographique des sols fonctionnels pouvant constituer soit des corridors écologiques, soit des réservoirs de biodiversité ».

La trame brune selon un groupe de travail de la Ligue de Protection des Oiseaux :

Le guide technique restituant les travaux du groupe de travail « Sols vivants » du club U2B de la LPO⁴⁷, décrit la trame brune comme un équivalent de la trame verte mais dont le rôle écologique reste encore à définir. Les éléments suivants sont énoncés et constituent une ébauche de définition :

« En tant que réseau écologique, la Trame Brune est constituée de réservoirs et de corridors pédologiques permettant d'assurer d'une part les conditions abiotiques et biotiques les plus favorables au maintien, au développement et/ou à la restauration d'un maximum d'espèces vivant dans le sol. Elle permettrait d'autre part le déplacement et les échanges de gènes d'un réservoir à l'autre d'espèces vivant toutes leurs étapes de vie dans le sol et ayant des capacités de dispersion limitées telles que les vers de terre. En contexte urbain, la Trame Brune serait donc soumise à la fois à des contraintes d'anthropisation des sols (par exemple : décapage, compaction, pollution) et d'isolement des sols (séparés d'un milieu réservoir par un chemin, une piste cyclable, une route). »⁴⁸

Nous retrouvons ainsi dans cet énoncé les éléments caractéristiques d'une trame, à savoir des réservoirs et des corridors. Les notions d'habitabilité et de continuité des sols apparaissent comme des notions fondamentales à cette idée de trame.

La trame brune dans le cadre de la recherche Tram'Biosol :

Le projet de recherche Tram'Biosol, dont l'objectif était d'étudier l'intégration de la trame brune et de la biodiversité lombricienne dans les programmes d'aménagement urbain à l'échelle des quartiers, propose une autre définition. Menée par une équipe pluridisciplinaire

⁴⁷ *Sols vivants, Alternative à l'artificialisation des sols et réhabilitation des sols dégradés.* (2022). LPO. https://occitanie.lpo.fr/wp-content/uploads/2022/10/LIVRABLE-SOLS-VIVANTS_Web.pdf

⁴⁸ Idem.

dans le cadre du programme BAUM, la recherche reprend comme point de départ la définition établie en 2020 par un groupe de chercheurs mené par Daniel Cluzeau :

« La Trame brune désigne principalement les réseaux écologiques au sein de la pédosphère, et au même titre que la trame verte et bleue, se compose de réservoirs et de corridors pédologiques qui permettent d'assurer la continuité écologique pour la biodiversité des sols. Cette trame brune concerne surtout les espèces vivant continuellement dans le sol (géobiontes) et qui ont de très faibles moyens propres de déplacement (appendices arthropodiques absents ou très réduits et absence d'ailes lors du stade adulte).

Pour cette biodiversité, le sol est à la fois un lieu de vie et un espace de déplacement. Ces déplacements peuvent être conditionnés par : 1) les capacités intrinsèques de migration des espèces présentes (absence de pattes ou d'ailes) 2) des barrières anthropiques plus ou moins infranchissables (chemins, trottoirs, routes...). »

Toutefois, cette définition, exposée lors du séminaire de restitution du projet Tram'Biosol au Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires le 5 juin 2024, est présentée par ses auteurs comme trop restrictive. En effet, les espèces ciblées sont assez spécifiques et ne semblent pas refléter la biodiversité des sols. La définition de la trame brune doit ainsi évoluer d'après Daniel Cluzeau, en associant notamment les communautés lombriciennes étudiées à l'étude d'autres espèces du sol, et en y intégrant les enjeux de gestion des sols urbains. De plus, cette trame brune urbaine, caractérisée par un degré d'habitabilité et de continuité des sols, est conditionnée par plusieurs facteurs pédologiques (propriétés physiques et chimiques des sols, degré d'anthropisation etc) et d'urbanisation (formes urbaines, usages, âge du bâti).

Ainsi, quelle que soit sa couleur, la notion de trame fait référence à des continuités et renvoie à l'idée d'une structuration d'éléments reliés entre eux.

3.1.2. Un support de la trame verte et bleue

La Trame verte et bleue a été introduite par le Grenelle de l'environnement en 2007, consultation nationale dont l'objectif était de refonder la politique de l'écologie et de « rendre compatible la croissance avec les limites d'un monde fini »⁴⁹.

La loi portant engagement national pour l'environnement, dite « Grenelle 2 », promulguée le 12 juillet 2010, a permis de définir des grands chantiers, comportant des actions concrètes pour la préservation de l'environnement. Cette loi a fait suite à la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, « Grenelle 1 », qui fixait les grands objectifs en matière environnementale. Ainsi, des obligations de prise en compte de la trame verte et bleue en tant que réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques ont été introduites par ces lois. Opposable aux projets d'aménagement, cette trame a pour objectif de relier les espaces naturels afin de permettre à la faune et à la flore de se déplacer et de vivre sur le territoire.

Le Code de l'environnement définit les objectifs de la trame verte et bleue à l'article L371-1 :

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

La trame verte et bleue constitue donc une politique publique de préservation de la biodiversité, au croisement entre la protection de l'environnement et l'aménagement du territoire⁵⁰. A travers l'identification de réservoirs et de corridors, la trame verte et bleue vise à lutter contre la fragmentation des habitats, facteur à l'origine de l'érosion de la biodiversité. Elle s'applique à l'ensemble du territoire national, à l'exception du milieu marin. De nombreux acteurs interviennent dans sa définition et dans sa mise en œuvre, à trois échelles territoriales : nationale, régionale et locale.

A l'échelle nationale, un comité national « trames verte et bleue », intégré depuis 2017 dans le Comité national de biodiversité, est associé à l'autorité administrative de l'État compétente afin d'élaborer, de suivre et de mettre à jour un document cadre intitulé « Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités

⁴⁹ *Le Grenelle de l'environnement*, Assemblée Nationale. https://www.assemblee-nationale.fr/13/controle/com_affeco-grenelle_environnement.asp

⁵⁰ *Trame verte et bleue : une politique intégrée*. OFB. <https://www.ofb.gouv.fr/trame-verte-et-bleue>

écologiques »⁵¹. Le décret n° 2019-1400 du 17 décembre 2019 adaptant les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques précise notamment les objectifs et les lignes directrices pour la mise en œuvre de la trame verte et bleue, ainsi que des éléments méthodologiques permettant d'assurer la cohérence écologique de la trame à l'échelle nationale.

A l'échelle régionale, les Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE) sont élaborés par l'État et la région, en collaboration avec le comité régional « trames verte et bleue ». Ces documents sont en charge d'identifier et d'analyser les enjeux régionaux relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques, tout en prenant en compte les orientations nationales mentionnées ci-dessus. Les trames vertes et bleues sont donc les réseaux formés de continuités écologiques identifiés par les SRCE. Depuis 2016⁵², et suite à la loi NOTRe, les Schémas régionaux de cohérence écologique ont été intégrés dans les Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), lesquels doivent désormais définir les enjeux régionaux en matière de préservation et de remise en bon état des continuités écologiques en vertu du nouvel article L371-3 du Code de l'environnement. Seule la région Ile-de-France conserve un SRCE distinct du SRADDET. Selon les caractéristique et l'état des continuités et des réservoirs identifiés, deux objectifs peuvent être définis : un objectif de préservation, qui s'applique davantage aux espaces jugés fonctionnels ; ou un objectif de remise en bon état, lequel s'applique aux éléments dont la fonctionnalité est à améliorer.

Enfin, à l'échelle locale, les SCoT doivent tout d'abord prendre en compte les dispositions des SCRCE et des SRADDET et intégrer ainsi les enjeux identifiés en matière de continuités écologiques. Les SCoT doivent ainsi décliner à l'échelle territoriale les enjeux définis à l'échelle régionale, et en établir une cartographie assez fine. Les Plan locaux d'urbanisme constituent quant à eux l'échelon règlementaire et opérationnel de mise en œuvre de la trame verte et bleue. Ils prescrivent des règles opposables et doivent prendre en compte les préconisations des documents régionaux. Ils peuvent également définir des dispositions volontaristes. L'intégration de la trame verte et bleue dans les PLU et PLUi n'est pas uniforme, car elle dépend du projet politique porté par les élus et des spécificités territoriales. La trame verte et bleue constitue toutefois un outil d'aménagement durable du territoire. Les éléments

⁵¹ Article L371-2 du Code de l'environnement.

⁵² L'article L371-3 du Code de l'environnement a été modifié par l'ordonnance n° 2016-1028 du 27 juillet 2016 relative aux mesures de coordination rendues nécessaires par l'intégration dans le SRADDET, des schémas régionaux sectoriels mentionnés à l'article 13 de la loi NOTRe du 7 août 2015.

constitutifs de cette trame étant définis par le Code de l'environnement, l'article L113-29 du Code de l'urbanisme énonce qu'ils peuvent être classés en espaces de continuités écologiques dans les PLU. Par conséquent, les éléments de trame verte et bleue identifiés comme continuités écologiques à préserver ou à remettre en état, sont intégrés dans différentes pièces du PLU selon l'article L113-30 du Code de l'urbanisme, lequel renvoie à quatre autres articles du même code. Ainsi, l'article L151-22 précise que le règlement peut contribuer au maintien de la biodiversité et de la nature en ville en imposant une part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables. De plus, le règlement peut également identifier, en vertu de l'article L151-23, des éléments de paysage ou des secteurs à protéger pour des motifs de préservation, maintien ou remise en état des continuités écologiques. Il peut ainsi délimiter des zones inconstructibles si nécessaire. L'article L151-41 du code de l'urbanisme énonce par ailleurs que le règlement peut identifier des terrains sur lesquels sont délimités des espaces réservés aux continuités écologiques ou aux espaces verts à créer ou à modifier. Enfin, l'article L113-30 énonce que la protection des continuités écologiques peut être assurée par la définition d'orientations d'aménagement et de programmation (OAP), en vertu de l'article L151-7.

Ainsi, au vu des éléments énoncés, la trame verte et bleue est un dispositif de protection de la biodiversité terrestre et aquatique, qui passe par la préservation des continuités écologiques. Ce dispositif s'imposant par ailleurs aux élus de chaque territoire, il n'est pas négligeable dans le contexte actuel, marqué notamment par l'érosion de la biodiversité. Le sol est directement en lien avec les trames vertes et bleues dans la mesure où il peut en être considéré comme un socle vivant, dont dépendent les écosystèmes terrestres et aquatiques. L'étude de la trame brune suppose alors de comprendre l'interconnexion qu'il existe entre le sol et le reste du monde vivant visible en surface. Cependant, au regard de la faible capacité de dispersion des espèces du sol, l'échelle d'une potentielle trame brune apparaît nécessairement plus réduite que celle des trames vertes et bleues. Par ailleurs, la prise en compte par cette nouvelle trame de la seule biodiversité du sol, pourrait paraître occulter les autres fonctions du sol, pourtant interconnectées et dépendantes de cette biodiversité.

3.2. La représentation cartographique de la qualité des sols

La qualité des sols et leurs propriétés, à l’instar de la biodiversité qu’ils abritent, ne sont traditionnellement pas représentées dans les documents d’urbanisme aussi bien au niveau stratégique qu’au niveau opérationnel. Les fonctions des sols urbains étant assez peu étudiées, il existe peu de données pour permettre de les représenter cartographiquement, au même titre que les sols agricoles et naturels.

La question de l’utilisation de la cartographie pour représenter les données qualitatives relevées sur les sols peut alors se poser. En effet, les cartes des sols sont aujourd’hui largement axées sur une thématique de gestion et non de préservation. Or, il existe un réel besoin de qualification des sols afin que l’aménagement du territoire à venir soit le moins destructeur possible. Pour représenter au mieux les enjeux relatifs à la qualité des sols, et en particulier des sols urbains, faut-il changer les représentations actuelles que nous avons du sol ?

3.2.1. Les outils de cartographie des sols existants, la prédominance d’une approche gestionnaire et l’exclusion des sols urbains

Les propriétés et fonctionnalités des sols urbains sont très peu représentées de manière cartographique. En effet, la représentation cartographique des sols exclut souvent les sols urbains, car la connaissance de ces sols est assez limitée. Les données pédologiques manquent à la réalisation de cartographies des propriétés et de la qualité des sols, en surface mais également en profondeur. Cette partie propose une revue non exhaustive des cartographies des sols existantes, en conservant délibérément des cartes accessibles à un public non spécialiste du sujet.

La carte des sols en France, un point de départ à la connaissance des sols :

Les cartes qui traitent des données « sol » illustrent à première vue les différentes typologies de sols, selon leurs caractéristiques géologiques et physiques. Ainsi, la carte des sols en France, disponible sur Géoportail, donne à voir les types de sols dominants sur le territoire métropolitain, à une échelle large de 1/250 000^e. Cette carte, réalisée par le Groupement d’Intérêt Scientifique sur les Sols (GIS Sol), ainsi que par le Réseau Mixte Technologique Sols et Territoires, a été réalisée grâce au croisement des sources d’information disponibles et informatisées sur les sols, complétées par des relevés de terrain ponctuels. Les référentiels

pédologiques régionaux ou départementaux ont permis par ailleurs de compléter et d'affiner la carte.

Cette carte illustre la diversité des sols du territoire métropolitain ainsi que leurs principales caractéristiques. Bien qu'elle reste une représentation générale de cette variété de sols, la cartographie finale est en fin de compte assez fine grâce à la mobilisation des référentiels pédologiques régionaux. Les études pédologiques portées pour la plupart par les Chambres d'agriculture offrent un aperçu des sols dominants et de leurs caractéristiques principales, à l'exclusion des zones urbanisées. En effet, les zones urbanisées ne sont pas étudiées et sont représentées par un aplat de couleur gris sur la carte, comme si le sol urbain n'existait pas. L'unité cartographique retenue pour les sols des villes est celle de « zone urbanisée », sans plus de détails (voir figure 4).

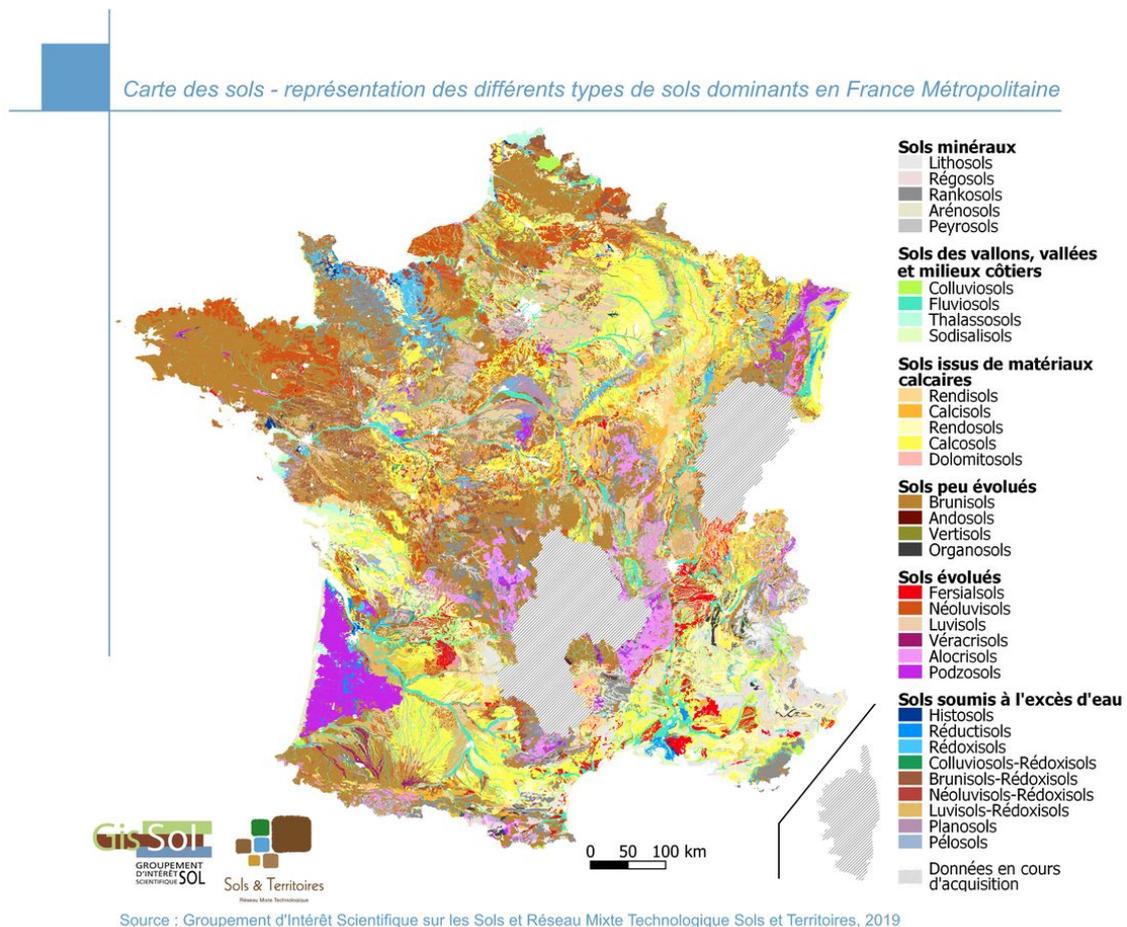


Figure 5 : Carte des sols. Source : site internet du ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire.

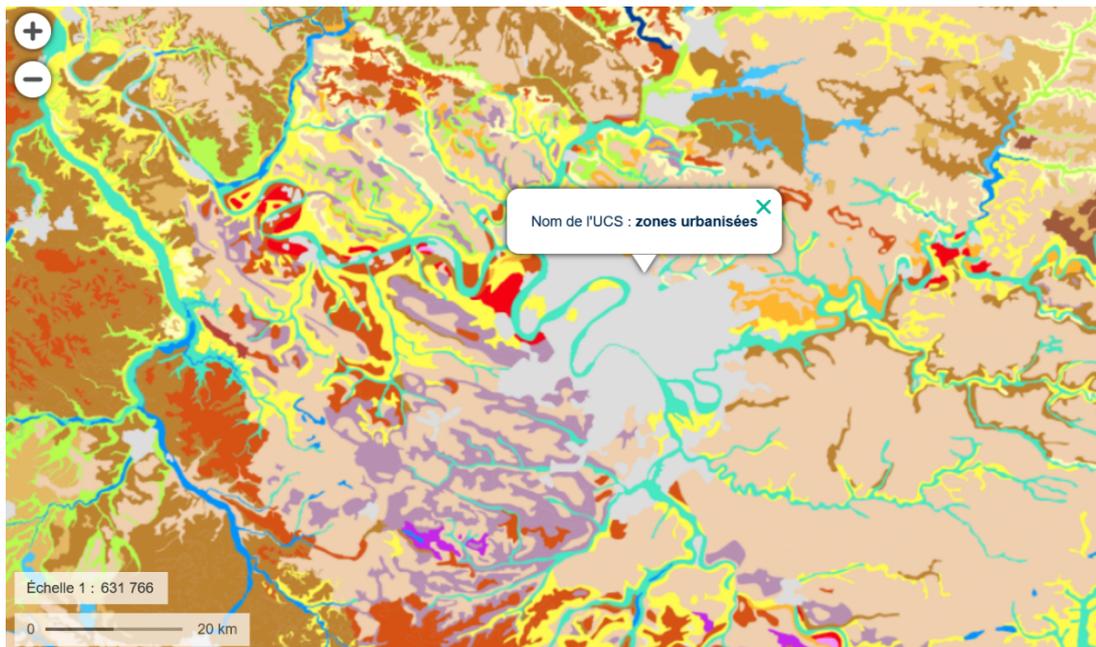


Figure 6 : La carte des sols centrée sur la ville de Paris.

En outre, les cartes d'occupation des sols représentent les sols au prisme de leurs usages et suivant une approche surfacique.

L'OCS GE, une représentation de l'occupation du sol à grande échelle :

L'occupation des sols à grande échelle (OCS GE) décrit l'occupation du sol sur tout le territoire français. Cette base de données est réalisée à partir de vues aériennes, ainsi que du recoupement de données existantes issues des bases de l'IGN et des référentiels nationaux et locaux. L'OCS GE utilise une nomenclature fondée sur un modèle en 2 dimensions, séparant la couverture et l'usage du sol. Ainsi, 14 types de couverture du sol sont retenus, et 17 postes pour l'usage du sol. Concernant la couverture du sol, les sols sont tout d'abord divisés en deux catégories, selon qu'ils soient recouverts ou non de végétation. Les sols sans végétation sont ensuite répartis entre surfaces naturelles et surfaces anthropisées, ces dernières étant subdivisées entre les zones perméables et les zones imperméables. Les données de couverture du sol sont des données importantes car elles permettent de localiser les espaces où les sols sont susceptibles d'être fonctionnels, même en milieu urbain. Ainsi, l'OCS GE permet d'étudier les évolutions de l'occupation des sols et de suivre notamment l'artificialisation des territoires. C'est une base de données de référence très demandée par les collectivités, car c'est une aide

réelle à la prise de décisions publiques en matière d'urbanisme, d'environnement et de suivi de consommation des espaces⁵³.

Corine Land Cover, une représentation de l'occupation biophysique du sol :

Corine Land Cover (CLC) « est un inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution »⁵⁴, produit dans le cadre du programme européen d'observation de la terre Copernicus. Les cartes sont réalisées à une échelle de 1/100 000, grâce à une interprétation visuelle d'images satellitaires, associée à des données complémentaires. La nomenclature de la base Corine Land Cover est constituée de 44 postes différents, répartis suivant 5 types d'occupation du sol. La typologie « territoire artificialisés » est divisée en 11 catégories parmi lesquelles on retrouve les différentes zones d'activité (zones portuaires, zones industrielles et commerciales, etc.), les réseaux de transport, les zones d'extraction de matériaux, les chantiers, les équipements sportifs et de loisirs, mais également les espaces verts urbains. Le tissu urbain est quant à lui classé en deux catégories, selon qu'il soit continu ou discontinu. En vertu de la nomenclature détaillée, le tissu urbain continu est un tissu caractérisé par un sol recouvert presque en totalité par des bâtiments, la voirie et des surfaces imperméabilisées. En outre, « La végétation non linéaire et le sol nu – y – sont exceptionnels »⁵⁵. Le tissu urbain discontinu contient quant à lui davantage de surfaces végétalisées et de sol nu « qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables »⁵⁶. Par ailleurs, le poste d'occupation relatif aux espaces verts artificialisés non agricoles, permet de localiser les espaces végétalisés inclus dans le tissu urbain. La base de données Corine Land Cover permet ainsi d'avoir quelques indications sur l'occupation du sol en milieux urbain et d'identifier les espaces où le sol n'est pas scellé.

Le Mode d'occupation des sols (MOS), une autre échelle de représentation de l'occupation du sol :

Construit à partir d'images de télédétection, le MOS est un atlas cartographié informatisé de l'occupation du sol de la région Ile-de-France. Réalisé pour la première fois en

⁵³ *L'occupation du sol à la loupe avec l'OCS GE*. (2019). Cerema. <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/newsletters/signature-69-artificialisation-sols-sa-mesure/occupation-du-sol-loupe-ocs-ge>

⁵⁴ Portail de l'artificialisation des sols

⁵⁵ *Corine Land Cover France, Guide d'utilisation*. (2009). Commissariat général au développement durable, service de l'observation et des statistiques. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-12/clc-guide-d-utilisation-02_0.pdf

⁵⁶ Idem.

1982, cet outil édité à l'échelle 1/5 000, permet de suivre et d'analyser l'évolution de l'occupation du sol sur tout le territoire régional. La base de données est construite avec 81 postes d'occupation du sol qui offrent une vision assez précise du territoire. En effet, les zones de jardin sont classées différemment, selon leur type : jardins familiaux, jardins de l'habitat individuel, jardins de l'habitat rural, jardins de l'habitat continu bas, parcs ou jardins publics ou privés de plus de 5 000 m². Ainsi, les espaces où l'on retrouve des sols non scellés sont représentés de manière assez fine par le Mode d'occupation des sols, grâce à cette nomenclature. Toutefois, le portail de l'artificialisation présente la nomenclature du MOS comme très urbaine, et ne détaillant pas assez les espaces ouverts. Cet outil d'aide à la décision porté par l'Institut Paris Région permet néanmoins d'appréhender une grande partie des enjeux humains et environnementaux du territoire, afin notamment d'en guider l'aménagement.

Ainsi, la cartographie n'apparaît pas forcément comme étant le mode de représentation le mieux adapté pour illustrer les sols dans leur ensemble et donner à voir la complexité de ces milieux. En effet, la vue zénithale employée en cartographie offre une représentation du sol en tant que surface plane vue du dessus, rendant impossible la représentation visuelle des différents horizons du sol. De plus, les sols urbains sont les grands oubliés des cartographies des sols à grande échelle. Les cartes demeurent toutefois très utiles à l'étude des sols dans la mesure où elles peuvent faire interagir plusieurs données, et permettent notamment de visualiser et de comparer les changements d'usages et d'occupation des sols. Il est évident que la cartographie ayant une vocation thématique, elle ne puisse pas représenter tout l'écosystème du sol en un support unique. Certains modèles et outils œuvrent cependant à intégrer des paramètres qualitatifs à la cartographie « classique », ou encore à réinventer la manière de représenter les milieux dans lesquels nous vivons.

3.2.2. La nécessité de qualifier les sols urbains afin de mieux mieux appréhender leurs enjeux dans l'aménagement du territoire

Aujourd'hui, il n'existe pas de base de données qui permette d'appréhender la qualité des sols. La connaissance et la représentation des fonctions du sol pourraient permettre d'ajouter un volet qualitatif au volet davantage quantitatif de l'occupation du sol. Dans cette optique, la densité des observations, des prélèvements et des analyses réalisées sur les échantillons permet d'assurer la qualité des prescriptions cartographiques en caractérisant au mieux les profils de

sols⁵⁷. Pour cela, divers outils et programmes s'attachent à étudier la qualité et les fonctions du sol.

Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols :

Tout d'abord, le Groupement d'Intérêt scientifique Sol (Gis Sol) a mis en place au début des années 2000 le programme d'étude des sols RMQS, soit le « Réseau de Mesures de la Qualité des Sols ». Ce programme repose sur le suivi, tous les 10 ans environ, de 2240 sites répartis sur le territoire français, et représentatifs de la diversité des sols et de leur occupation. Ainsi, le RMQS permet de mesurer les niveaux de pollution des sols mais également d'en étudier le niveau de fonctionnalité. Pour cela, les mesures incluent différents paramètres tels que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Ces paramètres sont associés à la recherche de facteurs explicatifs de la variabilité temporelle et spatiale des propriétés des sols, à l'instar de l'historique de l'occupation et de la gestion des sites. Ainsi, d'après le Gis Sol, les données du RMQS ont permis « de réévaluer avec précision les stocks de carbone des sols et de cartographier la biomasse microbienne des sols », grâce à l'étude de nouveaux paramètres lors des campagnes successives. Ce dispositif est conçu pour détecter de manière précoce les dégradations des sols et prévenir les atteintes à l'environnement et à la santé humaine, offrant ainsi un « outil d'aide à une gestion durable des sols »⁵⁸. Cependant, il semble que les sols étudiés dans le cadre de ce programme soient des sols agricoles, naturels et forestiers, et que les sols urbains soient finalement très peu pris en compte, hormis peut-être quelques sols d'espaces verts urbains ou de friches.

Le GIS Sol porte par ailleurs d'autres programmes d'étude et de cartographie des sols à l'instar du programme IGCS (Inventaire, Gestion et Conservation des sols). Ces programmes sont complémentaires et permettent au GIS Sol de « constituer et de gérer le système d'information sur les sols de France »⁵⁹. Le BRGM, membre du Gis Sol depuis la fin de l'année 2020, étudie quant à lui les sols urbains. Sa participation nouvelle au Gis Sol a pour objectif de croiser les bases de données réalisées de chaque côté, afin de réaliser « un continuum d'information relative au sol, des sols urbains aux sols agricoles et forestiers »⁶⁰.

⁵⁷ *La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives*. (2018). INRA Science et Impact. <https://www.gissol.fr/wp-content/uploads/2018/10/Rapport-complet-Carto-Sols-France-juillet2018.pdf>

⁵⁸ *Dictionnaire DoneSol*, IGCS. https://dw3.gissol.fr/fichiers/dictionnaire_donesol_igcs_3-15_31-03-2021.pdf

⁵⁹ Missions confiées au GIS Sol, dans l'objectif de répondre à la demande des pouvoirs publics et de la société.

⁶⁰ *Qualité des sols en France : le BRGM devient membre du Gis Sol*. (2021). BRGM. <https://www.brgm.fr/fr/actualite/actualite/qualite-sols-france-brgm-devient-membre-gis-sol>

La BDSolU du BRGM, l'étude de la contamination des sols urbains :

La base de données sur les sols urbains réalisée par le BRGM dans le cadre de conventions de recherche avec l'Ademe, ainsi qu'avec l'appui du Ministère de la transition écologique, étudie directement les sols urbains. Toutefois, elle est largement centrée sur l'étude de la contamination des sols et moins sur les différents types de sols ainsi que sur leur fonctionnement. La BDSolU est composée d'analyses chimiques de sols urbains recueillies dans le cadre de projets conduits par le BRGM ou par des acteurs de la dépollution des sols⁶¹. L'exploitation des données issues de ces analyses permet ensuite de faciliter la gestion des sites et sols pollués ou potentiellement pollués.

Ainsi, il est ressorti du webinaire organisé par l'Association française du sol (AFES) le 27 juin 2024 « Partager et co-construire en recherche participative sur les sols : enjeux des données », que les sciences participatives pourraient permettre d'alimenter des bases de données sur le fonctionnement des sols urbains.

Les programmes participatifs de récolte de données sur les sols :

Le QUBS⁶² est un programme de suivi participatif de la qualité biologique des sols, à visée à la fois pédagogique et scientifique, porté par le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE) et Vigie-Nature, accompagnés par des partenaires scientifiques. Ce dispositif permet à toute personne intéressée de participer à évaluer la qualité biologique des sols en réalisant des observations de la faune, guidées par un protocole. Il existe plusieurs protocoles, suivant les espèces du sol à observer. Ainsi, les observations récoltées grâce la participation de particuliers, servent à renseigner une base de données sur la qualité biologique des sols. Le site internet du programme précise que l'évaluation de la qualité biologique des sols « nécessite de comparer à des valeurs de référence qui dépendent du climat, du type de sol et de son usage, et de nombreux autres facteurs »⁶³. La collecte de données sur les sols urbains est très utile car ces données sont rares. La participation des habitants apparaît comme un moyen non négligeable de mieux connaître les sols urbains et la biodiversité qu'ils abritent.

⁶¹ BDSolU.fr

⁶² Acronyme pour QUalité Biologique des Sols.

⁶³ QUBS.fr

L'observatoire participatif des sols de jardin « Jardibiodiv », créé en 2017 à l'Université de Lorraine, a notamment participé au développement du programme QUBS précité. Ce dispositif a pour objectif « de faire avancer la Science tout en sensibilisant les participants sur les êtres vivants largement méconnus que sont les invertébrés du sol ». Les données collectées par les participants sur la biodiversité présente dans les sols sont étudiées afin « d'évaluer les pressions sur la biodiversité des sols en ville » et de sensibiliser les habitants à la préservation de cette biodiversité dans leur jardin. L'outil Jardibiodiv permet ainsi de mieux connaître les sols urbains grâce à l'observation de la pédofaune⁶⁴ suivant deux procédures : la première requérant des observations simples et la deuxième requérant des observations davantage scientifiques, avec la déclaration d'un lieu précis et la mise en place d'un protocole permettant d'observer les espèces du sol. Des fiches sont disponibles pour aider les participants à identifier les espèces observées, et les données collectées doivent être ensuite renseignées dans un formulaire. Cet outil d'observation participative est mobilisé dans des projets de recherche et de médiation scientifique, notamment le projet BISES⁶⁵ porté par l'Agence nationale de la recherche, ainsi que le projet Solenville mené sur l'Eurométropole de Strasbourg.

Ainsi, la collecte de données sur les sols et leurs qualités demandant des moyens assez importants, il est utile de faire appel aux propriétaires de jardins afin de récolter des données sur la biodiversité présente dans leurs sols. En effet, la participation des habitants permet d'avoir accès à un plus large panel de sols mais également de sensibiliser le public sur la faune du sol et ses enjeux.

Dans cette même optique, l'équipe du bureau d'études Sol Paysage a mis les habitants de la ville de Ris-Orangis (91) à contribution afin d'affiner l'étude des sols de la commune, dans le cadre de sa participation à l'Appel à manifestation d'intérêt (AMI) « Territoire Zéro Artificialisation Nette » lancé par l'Ademe. Ainsi, avec l'appui du Cerema et de Sol Paysages, des sondages ont d'abord été réalisés sur plusieurs sites dont les enjeux avaient été identifiés au préalable par le croisement de données cartographiques existantes. Le projet étant d'appréhender le sol comme « une ressource à part entière, qui assure des fonctions écologiques essentielles dans l'écosystème d'une ville »⁶⁶.

⁶⁴ La biodiversité du sol.

⁶⁵ BISES : Biodiversité des sols urbains et villes durables : état des lieux, interactions entre les systèmes productifs et non productifs et importance pour la fourniture de services écosystémiques.

⁶⁶ La Gazette de Ris-Orangis, avril 2023. https://www.mairie-ris-orangis.fr/wp-content/uploads/2023/03/Gazette-N119_2023-Web-1.pdf

Pour étudier les sols, il existe plusieurs façons de procéder. Tout d'abord, le sondage à la tarière permet d'échantillonner le sol et d'en identifier les différentes couches successives en y vissant une tarière à différentes profondeurs. La tarière peut être manuelle ou mécanique et prélève les échantillons de sol selon la profondeur souhaitée. Cette technique est également appelée « carottage ».



Ce sondage à la tarière manuelle permet de relever les différentes couches qui composent le sol et d'en observer les caractéristiques.

La photo ci-contre a été prise à Ris-Orangis lors d'un moment d'échanges organisé par la DGALN, le Cerema et l'OFB, portant sur les coefficients de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables.

Figure 7 : Résultats d'un sondage à la tarière manuelle. Source : Photographie personnelle (24 juin 2024).

Par ailleurs, les sols peuvent également être sondés via la réalisation de fosses pédologiques. Ces fosses pédologiques permettent de bien distinguer les différents profils de sols et de prélever des échantillons qui sont ensuite analysés en laboratoire pour en tester les caractéristiques.



La photo ci-contre montre une fosse pédologique d'un mètre de profondeur, réalisée par le bureau d'études Sol Paysage dans les jardins familiaux de Ris-Orangis. On y distingue assez clairement quatre couches de sol grâce à leur couleur. Le prélèvement d'échantillons dans chacune des couches permettait également de comparer les caractéristiques physiques de chaque couche de sol.

Figure 8 : Fosse pédologique à Ris-Orangis. Source : Photographie personnelle (24 juin 2024).

En tout, dans le cadre du projet AMI ZAN, 166 points d'observation ont été identifiés sur la commune de Ris-Orangis, dont 21 ont été étudiés selon la méthode des fosses pédologiques et 145 selon des sondages à la tarière. Par ailleurs, 73 jardins de particuliers ont été sondés.⁶⁷ Les résultats de ces sondages doivent désormais aider la commune et ses partenaires à réorienter la stratégie communale en faveur des sols.

Comment représenter les données qualitatives et fonctionnelles sur les sols ?

Tout d'abord, dans le cas de l'expérimentation réalisée à Ris Orangis, les nombreux relevés de terrains réalisés ont permis de collecter des données précises sur les caractéristiques et fonctionnalités des sols de la commune. Le degré d'anthropisation des sols sondés a pu alors

⁶⁷ Cerema, Projet AMI ZAN à RIS-ORANGIS.
https://www.cerema.fr/system/files/documents/2024/07/ami_zzan_poster.pdf

être représenté cartographiquement à l'aide d'aplats de couleurs, et a été croisé avec le degré de multifonctionnalité des sols, lui aussi représenté selon un gradient allant d'une multifonctionnalité très élevée, puis élevée, à moyenne.

Par ailleurs, l'ouvrage Terra Forma, présenté selon son sous-titre comme un « manuel de cartographies potentielles », propose une nouvelle approche de la cartographie, à travers des méthodes de représentation différentes. Un objectif de ce travail expérimental était notamment de sortir du cadre métrique classique pour tendre vers une conception éco systémique de la représentation cartographique. L'intégration du vivant et des paramètres qui l'entourent est une des données d'entrée de ces propositions. Le premier des sept chapitres de l'ouvrage est consacré au sol. La carte suivante représente la planète terre au prisme du sol, en proposant une vue inversée des éléments tels qu'on les représente habituellement. L'atmosphère est en effet située au centre du cercle et cette représentation permet de représenter la planète sans utiliser une approche surfacique du sol.



Figure 9 : Carte du sol, Terra Forma. Source : s-o-c.fr

Enfin, la coupe, très utilisée en architecture, semble être un outil adapté à la représentation du sol et de ses composantes dans la mesure où elle représente les éléments selon un plan vertical ou horizontal traversant. Les coupes réalisées classiquement n'identifient pas les sols et les sous-sols et seuls les espaces bâtis apparaissent, à l'instar des parkings ou des réseaux de transport souterrains. Ces coupes pourraient, à condition que les données pédologiques soient connues des architectes, représenter le sol et sa composition. Cela suppose cependant que des sondages pédologiques soient réalisés au préalable de tout projet d'aménagement. Ainsi, même s'il est difficile de représenter exactement un profil de sol, à moins de creuser des fosses pédologiques, les différents acteurs de l'aménagement seraient sensibilisés à la prise en compte des sols et de leurs fragilités grâce aux sondages réalisés. Dès lors, ils pourraient intégrer les enjeux liés aux sols dans leurs réflexions.

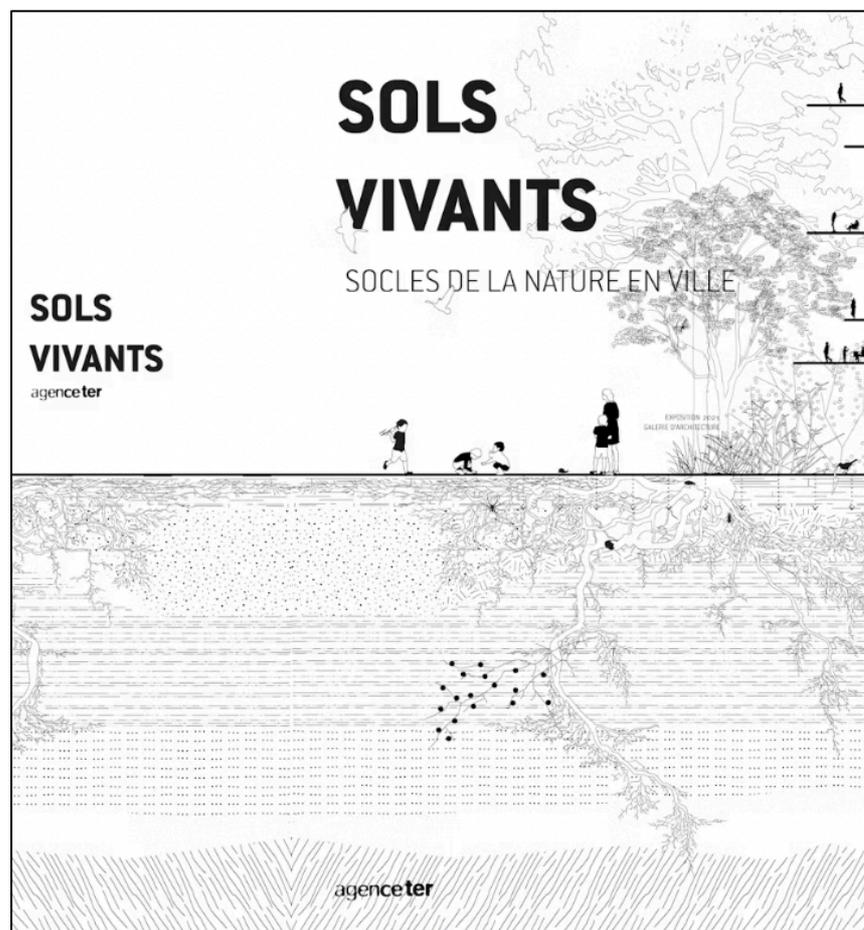


Figure 10 : Première de couverture de l'ouvrage *Sols Vivants*, publié par l'agence TER, présentant un sol vu en coupe (2021).
Source : agenceter.com

Concernant la représentation cartographique de la trame brune, il est à ce stade assez difficile d'en esquisser des modèles. En effet, l'échelle même de la trame n'étant pas définie,

la question de sa représentation se pose à titre expérimental. En effet, l'EPCI de Limoges Métropole, qui a présenté en 2022 une méthodologie pour la mise en place d'une trame brune et se trouve donc à un stade assez avancé de la réflexion, ne dispose pas encore des données d'échantillonnage et d'un référentiel qui permettraient de proposer une représentation cartographique de la trame brune⁶⁸. C'est pour cette raison que nous avons tenté de rassembler différentes conceptions et représentations du sol et de ses qualités au sens large, sans nous concentrer sur la représentation d'une trame brune.

3.3. Quelle échelle d'urbanisme pour préserver les sols urbains ?

Les documents de planification intègrent d'ores et déjà la problématique des trames vertes et bleues, et certaines collectivités s'intéressent à la trame noire, pour préserver les espèces nocturnes. Ainsi, la trame brune pourrait profiter des outils existants afin d'intégrer les documents d'urbanisme.

3.3.1. L'échelle régionale

Nous avons vu précédemment que les continuités écologiques étaient définies à l'échelle régionale par les Schémas Régionaux de Cohérence Écologique, intégrés aujourd'hui aux SRADDET. Cependant, l'échelle régionale ne permet pas d'identifier les continuités écologiques de manière précise sur les territoires. Ainsi, le rapport de prise en compte qui est imposé aux documents d'urbanisme inférieurs favorise les ajustements suivant les expertises locales réalisées.

Néanmoins, les SRCE sont assez lacunaires dans les zones urbaines dans la mesure où les milieux naturels y sont moins caractérisés. Ainsi, de nombreux espaces naturels comme des friches ou des espaces verts privés sont omis dans la cartographie des continuités écologiques régionales⁶⁹. L'identification des continuités pédologiques et de la qualité des sols en milieu

⁶⁸ D'après un échange avec Julie Sowa-Doyen, chargée de mission "Observatoire Communautaire de la Biodiversité" à Limoges Métropole, le 16 juillet 2024.

⁶⁹ *Urbanisme et biodiversité, vers un paysage vivant structurant le projet urbain*, sous la direction de P.Clergeau. Editions Apogée, 2020, p.224.

urbain paraît par conséquent peu aisée au vu du manque de précision impliqué par l'échelle régionale ainsi que du manque de connaissances sur les sols.

En somme, la reconnaissance et la protection des sols semblerait plus efficace à une maille plus fine. Les solutions pour préserver les sols urbains doivent être plus locales, afin de ne pas apparaître déconnectées des réalités et spécificités territoriales. Les documents d'urbanisme infra régionaux disposent de davantage d'outils pour identifier les sols et les préserver.

3.3.2. L'échelle du SCoT

Le schéma de cohérence territoriale (SCoT) à l'ambition « d'être le principal outil d'organisation et de mise en cohérence, à l'échelle du bassin de vie, du projet politique et urbain défini par les élus. »⁷⁰. Le SCoT, qui succède au schéma directeur en vertu de la loi Solidarité et renouvellement urbain du 13 décembre 2000, a une vocation plus large que son prédécesseur dans la mesure où il intègre des enjeux sociaux, économiques et environnementaux dans le schéma d'aménagement de l'espace.

En vertu de l'article L141-5 du Code de l'urbanisme, le document d'orientation et d'objectifs (DOO) du SCoT fixe les orientations et objectifs en matière de développement économique, commercial et agricole, dans un principe de gestion économe du sol et en respectant l'environnement. Le SCoT peut également décider de soumettre l'ouverture à l'urbanisation de certaines zones à la réalisation d'une évaluation environnementale selon les circonstances locales, en vertu de l'article L141-9 du même code. Le DOO est le seul document prescriptif et opposable du SCoT. Il énonce des prescriptions et des recommandations, les premières devant être transcrites obligatoirement dans les documents de planification communale ou intercommunale (PLU et PLUi) et les deuxièmes étant davantage des conseils à destination des élus locaux.

Ainsi, le DOO peut fixer des prescriptions en matière de préservation des sols et pourrait identifier des continuités pédologiques, à l'instar des continuités écologiques identifiées par les trames vertes et bleues. Les SCoT portant une volonté de préserver les sols recourent pour la plupart à la notion de pleine terre et sont plus ou moins prescriptifs à ce sujet. Le SCoT de la

⁷⁰ P.Merlin, F.Choay, Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, SCoT.

Métropole du Grand Paris par exemple, comprend une prescription qui fixe des règles de pleine terre. Cette prescription, la P86, poursuit un double objectif de préservation des espaces de pleine terre existants, et de renforcement de la pleine terre dans les espaces carencés. Ainsi, les documents de planification de rang inférieur doivent réaliser des diagnostics de pleine terre afin d'identifier les espaces carencés sur les territoires et tendre vers l'objectif fixé de 30% minimum de pleine terre. La pleine terre a été identifiée dans le SCoT comme un enjeu commun par les élus⁷¹. Par ailleurs, le cahier de recommandations (CDR), document obligatoire pour le SCoT de la Métropole du Grand Paris mais facultatif pour les autres SCoT, énonce des recommandations pour la rédaction des PLUi, afin de faciliter la mise en œuvre du DOO. L'enjeu de la pleine terre n'étant pas le même sur tout le territoire métropolitain, le CDR précise que « Les objectifs et orientations du DOO relatives à la pleine terre sont à intégrer dans le règlement du PLUi en les adaptant au caractère particulier de chaque tissu urbain »⁷². Finalement, on constate au regard de ces prescriptions que l'échelle du SCoT semble peu adaptée à l'enjeu de préservation des sols urbains. En effet, les spécificités des tissus urbains déterminent largement la proportion de sols non couverts disponibles et entraînent dès lors des enjeux différents selon les espaces.

Néanmoins, les définitions des espaces de pleine terre sont variables et résultent en partie de choix politiques. La Métropole du Grand Paris définit par exemple la pleine terre au prisme de l'infiltration des eaux pluviales dans le DOO de son SCoT, en décrivant les espaces de pleine terre comme « les espaces libres ne comportant aucune construction en surélévation comme en sous-sol, permettant la libre et entière infiltration des eaux pluviales. » Ainsi, l'intégration de prescriptions sur la pleine terre dans les SCoT constitue un préalable non négligeable à l'intégration de la préservation des sols dans les documents d'urbanisme. Toutefois, l'absence de définition commune de la pleine terre questionne l'efficacité de la notion.

L'identification de continuités pédologiques à une telle échelle paraît par ailleurs difficile, à moins d'identifier la trame brune comme support des trames vertes et bleues. Un tel cas de figure pourrait guider les documents d'urbanisme communaux et intercommunaux dans la qualification des sols urbains, mais reste hypothétique, d'autant plus que l'échelle du SCoT ne favorise pas une prise en compte détaillée des zones urbaines.

⁷¹ D'après un échange avec Sandra Chopin, cheffe du service planification à la Métropole du Grand Paris, le 3 juillet 2024.

⁷² Cahier des recommandations du SCoT de la Métropole du Grand Paris, p.50.

3.3.3. L'échelle communale et intercommunale

L'échelle communale et intercommunale est l'échelle retenue dans le cadre des expérimentations autour de la trame brune. L'EPCI de Limoges Métropole réfléchit en effet à cette nouvelle trame à l'échelle de son territoire, à l'instar de Tours Métropole Val de Loire dans le cadre du programme POPSU Transitions, de la Métropole du Grand Nancy et de la commune de Ris-Orangis.

Ainsi, les plans locaux d'urbanisme communaux et intercommunaux peuvent intégrer des dispositions sur les sols dans les différentes pièces qui les composent.

3.3.3.1. Le rapport de présentation

Tout d'abord, le rapport de présentation est une pièce du PLU en charge de présenter l'état initial de l'environnement et le diagnostic socio-économique du territoire et d'expliquer les choix retenus pour établir les autres documents du PLU (ou PLUi), en vertu de l'article L151-4 du Code de l'urbanisme. Il s'appuie sur un diagnostic réalisé à l'échelle communale (ou intercommunale dans le cadre d'un PLUi) qui dresse un portrait du territoire suivant plusieurs thématiques. L'état de l'environnement et les continuités écologiques doivent ainsi être identifiés dans le rapport de présentation, sur la base des éléments décrits dans le diagnostic. Ce diagnostic permet donc de cibler les grands enjeux du territoire et de les spatialiser.

Pour protéger efficacement les sols d'un territoire, l'acquisition de connaissance sur les caractéristiques de ces sols est primordiale. Cette connaissance étant particulièrement lacunaire en milieu urbain, une solution efficace serait de réaliser des diagnostics pédologiques qui seraient intégrés dans les rapports de présentation des documents d'urbanisme locaux. Néanmoins, la réalisation de tels diagnostics nécessiterait des moyens importants, tant financiers qu'humains pour les collectivités, dans la mesure où ils demanderaient l'intervention de bureaux d'études spécialisés dans l'étude des sols, ainsi qu'une partie d'analyse en laboratoire. En outre, l'accès aux sols pour la réalisation de sondages pédologiques constitue également un enjeu, particulièrement au regard de la propriété des sols. Au regard de ces difficultés, une solution pourrait être de mettre les habitants à contribution par le biais de programmes participatifs d'étude des sols.

3.3.3.2. Le PADD

Ensuite, le projet d'aménagement et de développement durables (PADD) dont l'objectif est d'exposer le projet de territoire porté par les élus, peut comporter des éléments traduisant une volonté de préserver les sols. En effet, ce document n'est pas un document opposable mais il permet de guider l'élaboration du PLU ou du PLUi et énonce pour cela des grandes orientations. En vertu de l'article L151-5 du Code de l'urbanisme, le PADD définit les orientations générales des politiques de préservation ou de remise en bon état des continuités écologiques. En outre, le PADD fixe également « des objectifs chiffrés de modération de la consommation de l'espace et de lutte contre l'étalement urbain » dans une optique de réduction de l'artificialisation des sols.

Ainsi, le PADD de Toulouse métropole, arrêté en juin 2024, prévoit dans son axe 1 intitulé « Préserver et valoriser les ressources du territoire », une orientation 4 intitulée « Préserver les sols vivants ». Cette orientation énonce l'importance de considérer le sol comme une ressource vivante, contribuant à la séquestration de carbone et à l'équilibre des écosystèmes. Cette orientation affiche l'ambition de dépasser la vision du sol en tant que support d'éléments naturels, en affirmant « leur protection pour leurs qualités intrinsèques, comme ressource vivante limitée, fragile et difficilement renouvelable »⁷³.

Le PADD du PLUi de l'établissement public territorial (EPT) Plaine Commune, actuellement en cours de révision, a d'ores et déjà été voté par les élus et expose un projet ambitieux. Le deuxième chapitre de ce document présente le volet écologique et décline ainsi les objectifs environnementaux du PADD. La préservation de la pleine terre est affirmée comme un objectif essentiel, devant permettre « un meilleur écoulement et une gestion des eaux pluviales plus respectueuse du cycle naturel de l'eau ; le rafraîchissement de la ville pour limiter l'impact des fortes chaleurs ; le maintien ou la restauration de sols vivants comme support de la trame verte et bleue »⁷⁴.

Le PADD, en traduisant le projet de territoire, affirme les ambitions des élus ainsi que les enjeux partagés à l'échelle communale ou intercommunale. La reconnaissance de la

⁷³ PADD Toulouse Métropole.

⁷⁴ PADD du PLUi de Plaine Commune.

préservation des sols en tant qu'enjeu commun est un préalable à l'affirmation de mesures réglementaires de protection des sols.

3.3.3.3. Le règlement

En vertu de l'article L151-8 du Code de l'urbanisme, le règlement doit fixer « en cohérence avec le projet d'aménagement et de développement durables, les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols permettant d'atteindre les objectifs mentionnés aux articles L101-1 à L101-3 ». Ainsi, le règlement traduit sur le plan réglementaire, les orientations définies dans le PADD. Les dispositions du règlement sont opposables et définissent ainsi à la fois un cadre protecteur des éléments identifiés dans le rapport de présentation ainsi qu'un cadre créateur de droit et d'obligations.

Le règlement comporte une partie écrite qui édicte les règles locales d'urbanisme ainsi qu'une partie graphique qui spatialise le zonage réglementaire. Il peut être plus ou moins prescriptif, selon l'ambition et la volonté des élus. Le règlement peut définir différentes mesures et utiliser différents outils pour réglementer l'occupation des sols. Par extension, ces outils réglementaires pourraient servir à préserver les sols urbains.

Tout d'abord, des coefficients peuvent être mis en place pour limiter la constructibilité des parcelles à l'échelle du PLU et PLUi. Le coefficient d'emprise au sol et le coefficient de biotope par surface ont déjà été évoqués précédemment⁷⁵ et permettent pour le premier de limiter la surface constructible d'un terrain, et pour le second, de flécher une part de surfaces non imperméabilisées ou éco aménageables sur les projets de construction. Ces coefficients sont fixés selon la volonté des élus et dépendent notamment du projet de territoire. Toutefois, le coefficient de biotope par surface peut se rapporter à plusieurs surfaces comme les toitures ou les façades des bâtiments et n'induit pas nécessairement une surface végétalisée ou non construite au sol. Ainsi, l'EPT Plaine Commune a par exemple retiré les toitures terrasses du compte du coefficient de biotope dans son PLUi, afin de rendre le coefficient de biotope par surface plus protecteur des sols.

En outre, des coefficients de pleine terre peuvent être définis dans les règlements des PLU ou PLUi. Ces coefficients fixent une proportion de pleine terre à préserver, à différentes

⁷⁵ Voir 1.1.2. et 1.2.1.

échelles. En effet, ici encore, selon la volonté politique des élus, les règles instaurées par le coefficient de pleine terre peuvent être plus ou moins prescriptives. Le coefficient peut s'appliquer à l'échelle du territoire, mais également à l'échelle de chaque parcelle accueillant un projet, en application des ambitions affichées dans le PADD. La pleine terre est une notion spécifique au milieu urbain et permet d'identifier les sols urbains non recouverts par des revêtements perméables ou imperméables. Elle induit également une question de profondeur de sol. L'étude menée par le Cerema et l'OFB sur les coefficients mobilisables dans les documents d'urbanisme a permis notamment de proposer une définition harmonisée de la pleine terre. Les sols de pleine terre seraient ainsi des sols constitués d'une succession d'horizons, suffisamment profonds, plutôt organiques en surface, composés en majorité de matériaux terreux et végétalisés. Ces sols pouvant être reconstitués ou d'origine, ils ne doivent toutefois pas être interrompus en profondeur par une surface imperméable, ni recouverts par des revêtements (perméables ou imperméables).

Ainsi, la qualification de la pleine terre implique d'étudier l'histoire de l'urbanisation des territoires et les successions d'usages et d'occupations des sols, afin de connaître la constitution des sols en profondeur. L'instauration d'un coefficient de pleine terre par une collectivité nécessite une connaissance assez fine des sols du territoire, afin de fixer des objectifs atteignables et cohérents au regard de la matrice urbaine.

Il ressort des retours d'expériences recueillis dans le cadre de l'étude précitée menée par le Cerema et l'OFB⁷⁶, que ces coefficients présentent des points positifs et négatifs. Ils sont en effet plutôt faciles à mettre en œuvre, connus des acteurs de l'aménagement ce qui leur permet une grande adaptabilité et leur poids dans le règlement est important. Cependant, le contrôle de leur bonne application n'est pas aisé, il n'existe pas d'évaluation de leur efficacité sur la préservation des sols et les définitions de ces coefficients ne sont pas harmonisées. La combinaison de ces coefficients avec d'autres outils apparaît dès lors essentielle pour préserver les sols urbains, d'autant plus que ces coefficients constituent des outils offrant une ouverture à la constructibilité.

En outre, en vertu de l'article L151-23 du Code de l'urbanisme, le règlement peut identifier des éléments à protéger pour des motifs d'ordre écologique. Ainsi, selon ce même article, « Il peut localiser, dans les zones urbaines, les terrains cultivés et les espaces non bâtis

⁷⁶ Étude restituée à Ris-Orangis le 24 juin 2024.

nécessaires au maintien des continuités écologiques à protéger et inconstructibles quels que soient les équipements qui, le cas échéant, les desservent ». Les PLU(i) peuvent ainsi mobiliser des outils de « surzonages »⁷⁷ qui permettent de localiser des espaces spécifiques à protéger et auxquels sont associées des règles spécifiques. Ce surzonage se superpose au zonage de base du règlement, constitué des zones U (urbaine), AU (à urbaniser), A (agricole) et N (naturelle). Les emplacements réservés, permettent notamment de maîtriser l'affectation des sols en identifiant des espaces réservés afin de préserver les continuités écologiques ou espaces verts. Cet outil permet ainsi d'instaurer une servitude limitant la constructibilité de la zone et préservant ainsi des sols non couverts⁷⁸. Le règlement peut également localiser des espaces à protéger en milieu urbain grâce à d'autres outils. Le zonage EBC (Espaces boisés classés) permet par exemple de localiser et de protéger des espaces boisés, qui peuvent être constitués d'un seul arbre, car il induit une protection stricte et une interdiction de destruction. Ces zones à enjeux sont identifiées et spatialisées dans le règlement graphique.

Ainsi, des zones de pleine terre ou de continuités pédologiques pourraient être identifiées par un zonage spécifique emportant des mesures de conservation ou de revalorisation des sols ciblés. Le règlement est un outil important dans la mesure où il permet d'édicter des règles pour encadrer l'occupation des sols et qu'il peut être très prescriptif.

3.3.3.4. Les Orientations d'Aménagement et de Programmation

Les Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP) doivent être établies dans le respect des orientations définies dans le PADD et en cohérence avec le règlement. Les OAP revêtent une logique opérationnelle et incarnent ainsi l'urbanisme de projet. Elles sont opposables aux demandes d'autorisation d'occupation des sols et peuvent être soit thématiques soit sectorielles. Plus ou moins prescriptives, les OAP édictent des règles quantitatives ou qualitatives à respecter dans les projets d'aménagement. Cet outil est de plus en plus utilisé par les collectivités et permet notamment d'établir des préconisations durables.

Les trames vertes et bleues sont par exemple mises en œuvre par des OAP thématiques de trame verte et bleue qui doivent être obligatoirement identifiées dans chaque PLU(i). En effet, depuis la loi Climat et Résilience de 2021, les OAP doivent définir les actions nécessaires

⁷⁷ M.Linglart, *L'intégration de la biodiversité dans les documents d'urbanisme*, dans Urbanisme et biodiversité, Vers un paysage vivant structurant le projet urbain, 2020, p.227.

⁷⁸ Occitanie LPO, *Sols vivants : Alternative à l'artificialisation des sols et réhabilitation des sols dégradés*.

à la mise en valeur des continuités écologiques. Ces OAP trame verte et bleue peuvent contenir des orientations fléchées à des fins de protection des sols. Dans le cadre de la révision de son PLUi, l'EPT Plaine Commune a actualisé son OAP TVB en y intégrant des notions sur les sols⁷⁹. En effet, l'actualisation de la localisation de la matrice végétale sur le territoire a permis la création d'une typologie d'éléments naturels, qui se base sur l'identification des sols de pleine terre végétalisés. À ces différents éléments, appelés « noyaux de biodiversité », sont associées des règles spécifiques afin de préserver les secteurs de continuités. Ainsi, un objectif de 30% de pleine terre minimum sera imposé aux projets d'aménagement compris dans ces secteurs de continuités, une fois la révision du PLUi adoptée. Cette OAP trame verte et bleue qui se veut prescriptive et ambitieuse, est portée par une volonté de rehausser le niveau de protection environnementale du PLUi et d'offrir un cadre de vie qualitatif aux habitants du territoire. La pleine terre est apparue aux équipes de Plaine Commune en charge de la révision de l'OAP TVB comme la meilleure réponse aux défis climatiques, dans la mesure où elle est à la fois un support de fraîcheur, d'infiltration des eaux, mais également un des supports principaux du vivant. La future OAP trame verte et bleue de Plaine Commune intègre ainsi pleinement la question des sols et de leur protection.

Ainsi, les OAP peuvent intégrer des dispositions sur les sols de plusieurs façons et l'intégration de dispositifs de protection des sols dans les OAP, aussi bien thématiques que sectorielles est possible. La création d'OAP thématiques spécifiques aux sols pourrait être envisageable. La commune de Ris-Orangis, dans le cadre de la révision de son PLU, s'interroge également sur la création d'une OAP protectrice des sols, intégrant les questions de pleine terre et de continuités écologiques et pédologiques. L'OAP est un outil intéressant dans la mesure où son contenu est assez libre et qu'il peut être plus ou moins prescriptif. Toutefois, une OAP trop prescriptive ou trop complexe (c'est le cas aussi pour le règlement) pourrait être d'une efficacité limitée si les règles édictées se révélaient difficilement applicables par les instructeurs des autorisations d'urbanisme.

⁷⁹ D'après un entretien avec Yvan Paulet, chargé de mission révision PLUi, et David Teixeira, chargé de mission biodiversité et résilience territoriale chez Plaine Commune, en date du 4 juillet 2024.

3.3.3.5. Les chartes et autres documents annexes

Pour finir, les plans locaux d'urbanisme peuvent contenir des documents annexes reprenant les éléments à prendre en compte en matière d'aménagement. Ces annexes ne sont pas opposables juridiquement mais peuvent constituer des outils d'urbanisme négocié. Les chartes ou référentiels permettent par exemple d'orienter les pratiques d'aménagement et de construction. L'EPT Plaine Commune s'est par exemple doté d'une charte sur la qualité des constructions neuves, signé par des promoteurs et constructeurs, qui permet d'édicter un niveau de règles assez qualitatives pour les constructions de bâtiments neufs. Par ailleurs, le référentiel d'aménagement soutenable permet de poser des règles pour encadrer de manière négociée les pratiques d'aménagement. Dans un territoire attractif comme celui de Plaine Commune, ces documents d'urbanisme négocié sont assez utiles car ils permettent d'édicter des règles dépourvues de valeur juridique mais auxquelles vont adhérer la plupart des promoteurs et constructeurs qui souhaitent porter des projets sur le territoire. Ainsi, ces documents encadrant les pratiques d'aménagement peuvent inclure des dispositions sur la gestion des sols pour sensibiliser les différents acteurs qui interviennent au cours des projets, notamment lors de la phase de chantier, souvent destructrice du fait du tassement des sols par les engins.

Conclusion

Le sol est un milieu vivant qui remplit de nombreuses fonctions et revêt une importance cruciale au maintien des équilibres terrestres. L'état dégradé d'une grande partie des sols de la planète est préoccupant et requiert des mesures fortes de protection, voire parfois de restauration des milieux terrestres. Les sols urbains se font quant à eux de plus en plus rares et leur préservation et valorisation sont des enjeux d'autant plus importants que les villes sont des milieux très denses.

A travers leurs documents d'urbanisme, les collectivités peuvent mobiliser de multiples outils pour préserver les sols et leurs fonctions, et agir ainsi selon leurs moyens et selon l'échelle la mieux adaptée à leur territoire. Ainsi, la commune de Ris-Orangis a pu, grâce à l'ambition politique de ses élus ainsi qu'à l'AMI ZAN, réaliser une étude importante des sols de son territoire. Les résultats de cette étude ont permis d'identifier les espaces de pleine terre et leurs niveaux de fonctionnalité, et devront être intégrés au PLU d'une manière qui n'est pas encore définie.

L'étude menée par Limoges Métropole pour définir une méthodologie de prise en compte de la trame brune dans les documents de planification urbaine a révélé que l'échelle de cette nouvelle trame allait devoir être plus fine que celle des autres trames. En effet, l'analyse cartographique a mis en lumière les nombreuses ruptures du sol du territoire de l'EPCI, limitant de fait le travail d'identification d'une trame classique constituée de réservoirs et de corridors. Ainsi, la méthode d'inventaire de la trame brune devrait plutôt être mise en place sur les fronts d'urbanisation, afin de travailler en amont sur les projets de constructions en périphérie des communes. Ce choix de se concentrer sur les zones AU dans les espaces périurbains est motivé par les enjeux d'urbanisation spécifiques au territoire et par les moyens humains limités à disposition de l'EPCI. A ce jour, en raison de soucis logistiques et budgétaires, la méthodologie, achevée en 2022, n'a pas encore pu être testée.

Ainsi, la trame brune apparaît de prime abord comme une notion assez appropriée à la diffusion des enjeux de préservation des sols, dans la mesure où la notion de trame est connue des élus et acteurs de l'aménagement et parle au plus grand nombre. Toutefois, cette nouvelle trame ne peut pas se borner à afficher un objectif unique de préservation de la biodiversité, à l'instar des autres trames, d'une part car la biodiversité du sol est assez méconnue et d'autre part car ses capacités de dispersion sont assez faibles, ce qui ne justifie pas la notion de

continuité. La biodiversité du sol est tout de même un facteur clé, participant à l'équilibre des milieux pédologiques, mais elle ne doit pas être appréhendée de façon isolée. Les propriétés et fonctions du sol sont liées à plusieurs facteurs interconnectés, qui doivent être pris en compte concomitamment dans la mesure du possible.

Les outils pouvant être mobilisés dans les documents d'urbanisme pour protéger les sols urbains existent pour la plupart déjà. La création d'un outil « trame brune » pourrait permettre de regrouper les différents enjeux propres aux sols d'un territoire donné, ainsi que les mesures portées par la collectivité pour les préserver. L'intérêt de ce nouvel outil résiderait en grande partie dans la clarté de celui-ci et dans sa facilité d'appropriation et de mise en application sur des territoires variés. Une définition claire et univoque serait ainsi nécessaire et pourrait s'inscrire dans le cadre d'une modification de la législation en vigueur sur les sols.

Finalement, la préservation des sols, si elle ne passe pas nécessairement par la création d'une « trame brune », doit assurément passer par une sensibilisation forte de tous les acteurs de l'aménagement sur l'importance de considérer les sols comme une ressource et non comme une simple surface. Un croisement et une mise en commun des connaissances et des compétences sur les sols est très importante, au même titre qu'un dialogue entre les acteurs de la recherche et ceux de l'opérationnel.

Table des illustrations

Figure 1 : Une coupe de sol. © Shutterstock.com/Noppharat4569. Source : pourlascience.fr	0
Figure 2 : Schéma des différents groupes de la biodiversité du sol classés par taille. Source : Vincent, Q., « Étude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés ». Université de Lorraine (2018)......	29
Figure 3 : Exemple de représentation de l'indice IQSB-PRO pour un cas fictif. Source : Good Soil IQSB professionnels - Guide Indice de la qualité des sols, Bruxelles environnement (2022).	38
Figure 4 : Carte des sols. Source : site internet du ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire.....	49
Figure 5 : La carte des sols centrée sur la ville de Paris.	50
Figure 6 : Résultats d'un sondage à la tarière manuelle. Source : Photographie personnelle (24 juin 2024).	56
Figure 7 : Fosse pédologique à Ris-Orangis. Source : Photographie personnelle (24 juin 2024).	57
Figure 8 : Carte du sol, Terra Forma. Source : s-o-c.fr	58
Figure 9 : Première de couverture de l'ouvrage Sols Vivants, publié par l'agence TER, présentant un sol vu en coupe (2021). Source : agenceter.com	59

Bibliographie

Ouvrages :

ANMA Architectes Urbanistes. (2023). *Terre Terrain Territoire Discussion autour des sols*.

Choay, F., Merlin, P. (2015). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Edition Presses Universitaires de France (PUF), 4^e édition « Quadrige ».

Henry, P. (2022). *Des tracés aux traces, pour un urbanisme des sols*. Edition Apogée.

Urbanisme et biodiversité, vers un paysage vivant structurant le projet urbain, sous la direction de P.Clergeau. (2020). Édition Apogée.

Articles scientifiques :

Bosc, L. (2017). Propriété et protection des sols. Réflexions civilistes sur la prise en compte de la qualité des sols. *Droit et Ville*, 84(2), 65-80.

<https://doi.org/10.3917/dv.084.0065>

Chenu, C., Joimel, S., Grard, B., Vieublé Gonod, L. (2021). Le fonctionnement écologique des villes : Et si on pensait aux sols ? *Métropolitiques*. <https://metropolitiques.eu/Le-fonctionnement-ecologique-des-villes-et-si-on-pensait-aux-sols.html>

Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L.,

Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D. and Brun, J.-.-J, Blouin M, & Hodson, ME. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Eur J Soil Sci*. <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>

Desrousseaux, M. (2022). Reconnaître juridiquement la valeur environnementale des sols urbains. In *Reconnaître juridiquement la valeur environnementale des sols urbains*, Presses universitaires de Grenoble, p.2-9.
<https://www.cairn.info/reconnaitrejuridiquement-la-valeur-environnementale-des-solsurbains--9782706152917-p-2.htm>

- Guilland, C., Maron, P.-A., Damas, O., & Ranjard, L. (2018). Biodiversity of urban soils for sustainable cities. *Environmental Chemistry Letters*, 16.
<https://doi.org/10.1007/s10311-018-0751-6>
- Hermon, C. (2017). La protection du sol en droit. *Droit et Ville*, 84(2), 17-47.
<https://doi.org/10.3917/dv.084.0017>
- 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.
- Renaudie, O. (2017). Chapitre 11. La propriété tréfoncière : Entre droit commun et droit minier. In Y. Gunzburger (Éd.), *Le gaz de charbon en Lorraine : Quelle intégration dans le territoire ?* CNRS Éditions, 155-160.
<https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.30075>
- Schad, P. (2018). Technosols in the World Reference Base for Soil Resources – history and definitions. *Soil Science and Plant Nutrition*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.2018.1432973>
- Vidal-Beaudet, L., & Schwartz, C. (2022). *Le sol, maillon central de la renaturation des villes*. Presses universitaires de Grenoble. <https://shs.cairn.info/le-sol-maillon-central-de-la-renaturation-des-villes--9782706153679?lang=fr>
- Vincent, Q., Mangin, N., Rigolot, R., & Blanchart, A. (2021). *Étude de la biodiversité des sols (macrofaune épigée) urbains et péri-urbains dans le cadre de la création d'une trame brune*. 29, 275-294.
- Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langlais, A., & Schwartz, C. C. (s. d.). *Les services écosystémiques des sols : Du concept à sa valorisation*.

Monographies :

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

Ramond, A. (2023). *La prise en compte des sols vivants à Saclay*. École d'urbanisme de Paris.

Vincent, Q. (2018). *Étude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés*. Université de Lorraine.

Textes officiels :

Charte européenne des sols (1972).

Charte européenne révisée sur la protection et la gestion durable des sols
(2003). <https://rm.coe.int/16805dfc7d>

Code civil.

Code de l'environnement.

Code de l'urbanisme.

Rapports officiels :

AFES. (s. d.). *Référentiel pédologique 2008* (Quae).

European Atlas of Soil Biodiversity. (2010). JRC European Commission.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). <https://>

www.millenniumassessment.org/en/Condition.html#download

Soil Atlas of Asia. (2023). European commission, FAO.

Sites internet :

Alpine Convention | Alpconv. (s. d.). Consulté 1 juin 2024, à l'adresse <https://www.alpconv.org/en/>

Architecture, P. U. C. (2022, juillet 21). *Le Plan Urbanisme Construction*

Architecture—PUCA. Plan Urbanisme Construction Architecture.

<https://www.urbanisme-puca.gouv.fr/le-plan-urbanisme-constructionarchitecture-puca-a1405.html>

Ateliers Sols vivants I Présentation. (2023). L'Atelier des territoires. <https://www.atelier-territoires.logement.gouv.fr/ateliers-sols-vivants-l-presentation-a212.html>

Cesare F. SACCHI. MILIEU, écologie [en ligne], Encyclopædia Universalis. <https://www.universalis-edu.com/encyclopedie/milieu-ecologie/2-facteurs-biotiques-et-facteurs-abiotiques>

De nouvelles mesures pour assainir les sols européens, Actualité de l'Union européenne, Agriculture - Développement Rural, Énergie - Environnement – Climat. Occitanie Europe, 18 avril 2024. <https://occitanie-europe.eu/de-nouvelles-mesures-pour-assainir-les-sols-europeens/>

Déterminer les fonctions que remplissent les sols et la multifonctionnalité des sols | Cerema. (2022). <http://www.cerema.fr/fr/actualites/determinerfonctions-que-remplissent-sols>

INRAE. (2021). *DoneSol version 3.15. Dictionnaire de données.* GisSol.

Le Journal du Grand Paris, "L. Girometti : « Notre outil déploie une approche « à maille fine » de la notion d'artificialisation » ». (2023). <https://www.lejournaldugrandparis.fr/zero-artificialisation-nette-epamarne-se-dote-dun-nouvel-outil/>

Le projet de recherche DESTISOL. (2014). | Cerema. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-recherche-destisol>

Le SDC et le SCOT... au service de la qualité écologique du sol. (2021). Soilver. https://www.soilver.eu/wp-content/uploads/2022/04/02_Fiche_SOILval_ScotSDC_V4_MEFF.pdf

Les rôles de la biodiversité des sols. (2022). QUBS. <https://www.qubs.fr/lesroles-de-la-biodiversite-des-sols>

Les sols au coeur des stratégies de nature en ville | Cerema. (2024). <http://www.cerema.fr/fr/actualites/sols-au-coeur-strategies-nature-ville>

L'objectif ZAN, un levier pour l'intégration de la qualité des sols dans les documents d'urbanisme : Retour sur le webinaire du 29 janvier | Cerema. (s. d.). Cerema. Consulté 1 juin 2024, à l'adresse <https://www.cerema.fr/fr/actualites/objectif-zan-levier-integration-qualite-sols-documents>

L'occupation du sol à la loupe avec l'OCS GE | Cerema. (2019). <http://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/newsletters/signature-69-artificialisation-sols-sa-mesure/occupation-du-sol-loupe-ocs-ge>

Ministère de la culture. (2023, décembre 18). *L'archéologie préventive.* <https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/archeologie/L-archeologie-en-France/Les-operations-archeologiques/L-archeologie-preventive>

Plan d'occupation des sols (POS)—Définition et réglementation. (s. d.). Consulté 23 mai 2024, à l'adresse <https://www.service-plu.fr/planoccupation-des-sols/>

Plante & cité (Éd.). (2023). *Agir pour les sols urbains : Des sols fonctionnels pour la nature en ville.* Plante & cité.

Plassat, P. (2021). *Loi Climat et résilience : Tour d'horizon des dispositions en matière d'urbanisme et d'environnement.* SEBAN AVOCATS. <https://www.seban-associes.avocat.fr/loi-climat-etresilience-tour-dhorizon-des-dispositions-en-matiere-durbanisme-etdenvironnement/>

POS (plan d'occupation des sols) : Le point sur ce document d'urbanisme. (s. d.). PLU & Cadastre. Consulté 23 mai 2024, à l'adresse <https://plucadastre.fr/plan-occupation-sols/>

Projet MUSE : Intégrer la multifonctionnalité des sols dans les documents d'urbanisme. |

Cerema. (s. d.). Consulté 26 août 2024, à l'adresse <http://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-muse-integrer-multifonctionnalite-sols-documents>

Protection des sols : Où en est le droit européen ? (2022). <https://www.jss.fr/>

Protection_des_sols__ou_en_est_le_droit_europeen_-2773.awp Protection et prévention de la dégradation des sols, 595, Sénat (2021). <https://www.senat.fr/leg/ppr20-595.html>

Quelle prise en compte des sols dans les documents d'urbanisme ? Premier rapport d'étude du Cerema dans le cadre du projet MUSE | Cerema. (s. d.). Consulté 1 juin 2024, à l'adresse <http://www.cerema.fr/fr/actualites/quelle-prise-compte-sols-documents-urbanisme-premierrapport>

Quentin, V. (2022, janvier 24). La biodiversité des sols. *Encyclopédie de l'environnement*. <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/biodiversite-sols/>

Reconnecter les milieux naturels et favoriser le déplacement des espèces : Le traitement des trames écologiques par le Cerema | Cerema. (2019). <http://www.cerema.fr/fr/actualites/reconnecter-milieux-naturels-favoriser-deplacement-especes-0>

Trame verte et bleue : Une politique intégrée. | OFB. Consulté 26 août 2024, à l'adresse <https://www.ofb.gouv.fr/trame-verte-et-bleue>

Trames et continuités écologiques. (2022). Géoconfluences.

https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/trames-et-continuite-ecologique/@@download_pdf?id=trames-et-continuite-ecologique&uid=461ac6f2cbb246e6ae312a6a841b6405

Zéro artificialisation nette (ZAN) : Comment protéger les sols ? | [viepublique.fr](https://www.vie-publique.fr/eclairage/287326-zero-artificialisation-nette-zan-comment-protoger-les-sols). (2023, novembre 29). <https://www.vie-publique.fr/eclairage/287326-zero-artificialisation-nette-zan-comment-protoger-les-sols>

Divers :

Bruxelles Environnement. (2022). *Good Soil IQSB professionnels Guide : Indice de qualité des sols bruxellois (IQSB)*. <https://alfresco.environnement.brussels/share/s/aFIF0wouTXSr7aDD-0ztNw>

Corine Land Cover France, Guide d'utilisation. (2009). Commissariat général au développement durable, service de l'observation et des statistiques. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-12/clc-guide-d-utilisation-02_0.pdf

La cartographie des sols en France : Etat des lieux et perspectives. (2018). INRA Science et Impact. <https://www.gissol.fr/wp-content/uploads/2018/10/Rapport-complet-Carto-Sols-France-juillet2018.pdf>

Les propositions de la Convention Citoyenne pour le Climat. (2021).

Nos sols, un patrimoine méconnu. (2023). *La Gazette de Ris-Orangis*, p.16. https://www.mairie-ris-orangis.fr/wp-content/uploads/2023/03/Gazette-N119_2023-Web.pdf

NOTE D'ORIENTATION Tours Métropole Val de Loire / Université de Tours. (2023). POPSU.

Proposition de loi visant à préserver des sols vivants, 316, Sénat (2024). <https://www.senat.fr/rap/l23-316/l23-316.html>

Sobriété foncière – 17 propositions pour garantir des cadres de vie durables. (s. d.). Ordre des Géomètres experts.

Sols vivants : Alternatives à l'artificialisation des sols et réhabilitation des sols dégradés. (2022). LPO.

Trame brune. (2021). Union professionnelle du génie écologique.