Vers une prise en compte des potentialités des sols dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel

Anne Blanchart

▶ **To cite this version:**

Anne Blanchart. Vers une prise en compte des potentialités des sols dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel. Agronomie. Université de Lorraine, 2018. Français. NNT : 2018LORR0203 . tel-02075744

HAL Id: tel-02075744
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02075744

Submitted on 21 Mar 2019

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

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

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université de Lorraine

Ecole doctorale Sciences et Ingénierie des Ressources Naturelles

Laboratoire Sols et Environnement

Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional d'Aix-Marseille

THESE

présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur de l'Université de Lorraine en Sciences Agronomiques

Vers une prise en compte des potentialités des sols dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel

Anne Blanchart

Soutenue le **14 novembre 2018**

Devant le jury composé de :

Catherine KELLER, Professeur des Universités, Aix-Marseille Université (CEREGE)	Rapporteur
Paola VIGANÒ, Professeur des Universités, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Lab-U)	Rapporteur
Béatrice BÉCHET, Chargée de recherche, IFSTTAR (EE)	Examinateur
Christian WALTER, Professeur des Universités, Agrocampus Ouest (SAS)	Examinateur
Thomas ÉGLIN, Ingénieur ADEME	Invité
Jean Noël CONSALÈS, Maître de Conférences, Aix-Marseille Université (IUAR)	Encadrant de thèse
Christophe SCHWARTZ, Professeur des Universités, Université de Lorraine (LSE)	Directeur de thèse
Geoffroy SÉRÉ, Maître de Conférences, Université de Lorraine (LSE)	Co-Directeur de thèse

Laboratoire Sols et Environnement
Université de Lorraine, INRA (UMR 1120)
2, avenue de la forêt de Haye - BP 20163
54505 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional
Aix-Marseille Université
2, avenue Henri Poncet
13100 Aix-en-Provence

K***no***w soil, k***no***w life

D.L. Lindbo, D.A. Kozlowsk, C. Robinson
2012

Remerciements

Et vous, à quoi compareriez-vous votre expérience de thèse ? Pour ma part, je choisirais assurément le voyage en train ! En 2015, pour monter à bord, j'ai dû faire valider mon billet par un contrôleur, en l'occurrence, dans ce cas précis, par plusieurs contrôleurs ! Une fois dans mon wagon, bien installée dans mon siège, j'ai sorti mes livres et les ai lus avec attention (en m'octroyant tout de même la possibilité de prendre quelques instants de répit pour contempler les paysages qui défilaient par la fenêtre !). Pendant ce temps, le train prenait de la vitesse, jusqu'à atteindre sa vitesse de croisière : l'aventure commençait réellement ! Sortant la tête de mes bouquins, et avec mon (petit) bagage (scientifique), j'ai pu aller discuter avec d'autres voyageurs ; de mon wagon d'abord. Au fur et à mesure des échanges avec eux, ces voyageurs m'ont permis de faire grandir mon bagage. Un peu plus tard, avec un plus gros bagage, j'ai trouvé le courage de m'aventurer vers des wagons de plus en plus lointains… En septembre 2018, mon train a commencé à ralentir, pour finalement s'arrêter en gare le 14 novembre suivant. J'ai dû descendre à cette station : j'étais arrivée à destination. Si j'ai dû quitter l'ensemble de ces voyageurs ce jour-là, cela m'a permis de faire un point sur chacun d'eux et surtout de me rendre compte que nos chemins se recroiseront, dans d'autres trains nous menant vers d'autres aventures. Au cours de ce voyage, à travers ces différents wagons, j'ai rencontré des personnes passionnées, qui m'ont permis de prendre beaucoup de recul sur ma propre personne, sur mon aventure et qui m'ont également offert la possibilité de réfléchir à de nouveaux horizons. Certains de ces voyageurs étaient déjà dans le train avant que je n'y monte, d'autres sont montés après ; certains ont fait un passage express, d'autres sont descendus à ma station et d'autres encore ont continué le voyage... Mais qu'importe le temps passé dans ce train, chacun de ces voyageurs a participé à rendre mon voyage inoubliable, et pour cela je tiens, à travers ces quelques lignes, à leur exprimer mes plus sincères remerciements.

En premier lieu, je tiens à exprimer mes remerciements aux financeurs de ma thèse, qui avec cette métaphore représentent le train en lui-même : merci à la Région Grand Est et l'Agence de l'environnement et de la Maitrise de l'Energie. Cette aventure a également nécessité la conduite d'entretiens, la réalisation d'enquêtes en ligne, l'organisation d'un atelier de travail et des interventions sur le terrain. Elle n'aurait donc pas pu se faire sans l'aide de personnes qui ont œuvré pour répondre à l'enquête nationale, participer à ces entretiens et cet atelier, ou qui ont donné leur accord pour que je puisse échantillonner sur les sites de projets urbains. Je tiens à remercier l'ensemble des personnes des collectivités, bureaux d'étude, organismes de recherche ou encore associations avec qui j'ai pu échanger et qui sont pour beaucoup dans la réalisation de ce travail. Un merci particulier à la Métropole du Grand Nancy, à Aix-Marseille Métropole et à Nantes Métropole. Merci également au Conseil du Développement Durable du Grand Nancy, à Dominique Valck ainsi qu'à Rachel Kordus et Sandrine Bozzetti.

Ensuite, ce voyage en train n'aurait pu avoir lieu sans contrôleurs, qui, plus que « contrôler » mon billet, ont surtout œuvré pour que toutes les conditions soient réunies afin que ce voyage soit le plus agréable et enrichissant possible ! A ces trois contrôleurs, ces trois personnes aux compétences et connaissances énormes, diverses mais complémentaires, je tiens à exprimer mes plus chaleureux remerciements. Merci à vous, Christophe, Jean Noël et Geoffroy, pour avoir pleinement joué votre rôle d'encadrants ! Je vous dois amplement la réussite de ce travail et ai été ravie de partager cette aventure avec vous ! Vous avez toujours répondu présents, que ce soit pour répondre à des questions d'ordre méthodologique, pour m'accompagner sur le terrain, pour approuver l'exploitation et la présentation des résultats et même pour discuter pendant de

longues heures de concepts scientifiques (pas évident les thèses multidisciplinaires, n'est-ce pas ?!) ! Chacun à votre manière, vous avez su m'accompagner, m'épauler et m'aider à donner le meilleur de moi-même ! Christophe, je te remercie pour ton accueil au sein du LSE, pour avoir toujours fait en sorte que je puisse travailler dans un environnement agréable et stimulant. J'ai toujours été impressionnée par cette richesse de connaissances scientifiques dont tu fais preuve. Merci de les avoir mises au profit de ce travail de thèse, lors de nos réunions mais également lors des colloques que nous avons pu vivre ensemble. Merci pour les prises de recul que tu me permettais d'avoir suite à nos discussions : « ah oui mais c'est bien sûr ! » ! Je te remercie également pour m'avoir fait rencontrer de nombreuses personnes, plus intéressantes les unes que les autres. Plus personnellement, je te remercie pour ta joie de vivre et ton enthousiasme ! Jean Noël, cher rayon de soleil marseillais, je te remercie pour ton engagement à mes côtés au cours de ces trois ans ! Malgré la distance qui sépare Nancy de Marseille, tu as toujours su répondre présent, que ce soit lors des réunions de thèse ou même à l'occasion de plusieurs coups de fil ! Je te remercie pour ton accueil lors de mes déplacements à Marseille ainsi que pour avoir apporté tes très nombreuses compétences et connaissances en urbanisme et aménagement du territoire ! Ton efficacité ne connait aucune limite (que je n'ai réussi à identifier du moins !) ! Au cours de ce voyage, tu as également montré un très large intérêt pour le domaine des sciences du sol, afin de t'immerger pleinement dans ce sujet de thèse ! Tu as même été assez fou pour me suivre jusque dans les quartiers Nord de Marseille ! Pour tout cela merci ! Je retiendrai également nos discussions amicales, qui m'ont à chaque fois permis de prendre du recul sur mon sujet, mais également sur ma propre personne. Enfin, Geoffroy, merci pour ton accompagnement et ta bonne humeur au quotidien ! Merci d'avoir toujours pris le temps de répondre à mes questions, pour les manips en labo, pour l'exploitation des résultats ou encore pour la rédaction du manuscrit. Ton suivi régulier m'a permis de renforcer ma confiance en moi et de me forcer à aller toujours plus loin dans mes propositions. Merci pour tout ce que tu as pu m'apprendre, scientifiquement et méthodologiquement : je retiens l'astuce du « tac tac tac » et je sais que je m'en resservirai ! Je retiendrai également toutes les discussions que nous avons pu avoir lors de nos déplacements, sur ce qu'est une thèse et plus globalement ce qu'est le métier de chercheur. Un immense merci également pour tout le temps consacré à m'expliquer et parfois même me ré-expliquer de nombreux concepts des sciences du sol ! Mon souvenir le plus mémorable restera ce voyage en train, à 7h du matin, passé à lire la WRB et me former à la classification de sol ! Cet entrain quotidien que tu as pour ton métier restera pour ma part mémorable ! Durant ce voyage de trois ans, tu en as aussi vécu un, et eu l'opportunité de brillamment réussir ton HDR ! Je sais d'ores et déjà que tu feras un très bon directeur de thèse, avec d'immenses qualités pédagogiques ! Bref, au fil de ces trois ans, j'ai toujours crié à qui voulait l'entendre que j'avais le tryptique gagnant des meilleurs encadrants, je n'aurais pu rêver mieux ! Merci à vous trois, pour tout cela et pour bien d'autres choses encore ! Et surtout pour me donner l'occasion de voyager à nouveau dans les mêmes trains que vous pour les quelques années à venir !

Ensuite, il y a des voyageurs qui m'ont offert la possibilité d'agrandir mon (petit) bagage initial. Laure Vidal Beaudet, Antonio Bispo, Marion Bardy, Alain Guez, et Thomas Eglin, en ayant accepté de participer au comité de pilotage de ma thèse, vous faites partie de ces personnes ! Vous m'avez fait avancer dans mes propositions scientifiques. Merci pour vos encouragements et vos remarques constructives que vous avez formulées au cours des comités de pilotage. Les personnes de mon Jury de thèse font également partie de ces voyageurs si enrichissants. Je tiens à remercier très chaleureusement Paola Vigano, Catherine Keller, Béatrice Béchet, Christian Walter et Thomas Eglin pour vos rapports qui m'ont aidé à préparer mon oral ou pour nos échanges lors de la soutenance ainsi que vos félicitations chaleureuses. Parmi les voyageurs qui

ont enrichi mon bagage, il y a bien évidemment l'ensemble des personnes liées aux deux projets de recherche dans lesquels ma thèse s'est inscrite : Destisol et Supra. Tout d'abord, merci à l'Ademe d'avoir participé au financement de ces projets. Ensuite, un immense merci à l'ensemble des collègues avec qui j'ai pu échanger au cours de ces réunions de projet. Un merci tout particulier à Gilles et Johan, avec qui j'ai eu la chance de partager des aligots à la Maison de la Lozère à Paris ! A quand le prochain ?! Enfin, merci à Christophe et Sophie qui me font confiance et m'encouragent à agrandir mes connaissances sur les sols (agricoles et forestiers) depuis quelques mois maintenant !

Un voyage en train est agréable s'il est partagé avec des compagnons de wagons chaleureux ! J'ai eu la chance de vivre ce voyage au sein du Laboratoire Sols et Environnement. Merci à l'ensemble des permanents ou non permanents dont j'ai pu croiser le chemin ! Merci à Pierre, Emile et Gaylord pour vos grands sourires au quotidien ! Merci à Stéphanie, Catherine, Noëlle, Fred, Maxime, Emilie, Marina, Thibault, Julien, Dulce, Marie, Françoise, Guillaume, Sophie, Romane, Ramez et Clément pour votre « bonjour » du matin, vos sourires au détour d'un couloir et vos encouragements à l'approche de la station finale ! Plus particulièrement, merci à l'équipe technique du LSE pour son aide tellement précieuse ! Merci Adeline pour toute l'énergie que tu mets afin que nous puissions travailler dans un environnement sain et de qualité, ainsi que pour ton enthousiasme ! Romain, je n'ai pas vraiment eu l'occasion de travailler avec toi, mais je te remercie pour ces bons moments partagés au détour d'un couloir ou lors des repas des AG ! Merci à vous, Lucas et Jean Claude, pour votre aide sur le terrain ! A Lucas, pour ta conduite exemplaire de grosses pelles mécaniques, et à Jean Claude, pour ce gâteau que tu ne nous auras jamais fait, et pour ces « coucouuuuuu » lancés d'un bout à l'autre du wagon-LSE ! Merci Stéphane, pour ton aide, mais également pour tous les à-côtés ! Un voyage en train nécessite parfois un changement de batterie de Fiat 500 ou encore des apéros cochons ! Alain, merci d'avoir risqué ta vie sur les terrains et surtout sur l'autoroute, en montée et en 4ème avec le Partner du LSE ! Merci également pour tes compétences en informatique et surtout pour tes compétences en prise de photos lors d'une fameuse soirée de la Saint Patrick ! Au cours de ce voyage, j'ai également eu l'opportunité d'apprendre beaucoup de choses dans des domaines que je connaissais très peu au préalable. Pour ça, merci à Sophie et Françoise pour l'organisation des réunions Technosols, à Geoffroy et Sonia pour les réunions OSER, à Stéphanie pour les « Goûtez ma Publi » ainsi qu'à Clémentine et Quentin pour les séminaires doctorants et post-doctorants ! Ces moments ont rythmé ce voyage de manière très enrichissante ! A un moment, au cours de ces trois ans, j'ai eu l'opportunité de m'assoir sur le siège à côté du vôtre, Jean Louis : nous avons contribué ensemble à l'écriture d'un article scientifique. Pour cette expérience, pour vos conseils avisés et vos prises de recul, je vous remercie grandement ! Je retiens le souvenir d'une belle collaboration et j'espère qu'il pourra y en avoir de nouvelles. Laetitia et Sylvia, parce que vous avez organisé l'ensemble des mes déplacements d'un wagon à l'autre durant ce voyage, je vous exprime mes sincères remerciements ! Merci pour votre accompagnement à la planification de missions, pour votre aide et surtout pour votre bonne humeur au quotidien ! Ça a été un plaisir de partager de nombreux repas avec vous les midis ! Merci à Robin et Fred, pour votre accueil dans ce wagon : vous êtes rapidement descendus, mais vous avez néanmoins pris le temps de m'apprendre beaucoup de rouages du fonctionnement d'un laboratoire ! Les moments passés avec vous ont toujours été agréables, au plaisir d'en vivre de nouveaux ! Merci également à Clara, pour ton aide lors de ton stage que j'ai pris plaisir à encadrer. Enfin, lors de ce voyage en train, j'ai toujours pris plaisir à m'assoir à côté de toi, pour des conversations de quelques minutes et parfois même de quelques heures ! Parce que tu as cru en moi et m'as assez fait confiance pour m'embarquer dans certaines de tes folles aventures, merci à toi Apolline ! Merci pour l'engouement que tu mets dans ton métier, et pour (vraiment pas souvent) tes coups de gueule,

qui font parfois du bien ! Merci pour m'avoir associée à de nombreux projets : écrire un article avec toi a été très enrichissant ! Enfin, un immense merci pour ta bonne humeur au cours de ce voyage, pour ta détermination et pour avoir prouvé à tous qu'une femme peut effectivement (bien) faire plusieurs choses à la fois, si elle en a l'envie !

Présents dans le train, certains voyageurs m'ont également permis de réfléchir à de nouveaux horizons dans cette aventure, notamment dès que j'ai ressenti l'envie de « créer » mon propre « après-voyage ». A Natasha, Marie, Lisa et plus globalement à l'ensemble de l'Incubateur Lorrain, merci de m'accompagner depuis quelques mois maintenant dans mon projet de création d'entreprise, que j'ai la chance de porter avec quatre collègues supers ! Merci pour votre accueil bienveillant, pour votre bonne humeur et pour vos conseils sans faille. Quel que soit le futur de ce projet fou, je vous serai infiniment reconnaissante pour y avoir cru, avec moi, avec nous !

Au cours de ce voyage, j'ai eu l'opportunité de représenter les doctorants de l'école doctorale RP2E, puis SIReNa. Merci à Stéphane et Christine qui ont très largement œuvré pour que l'ensemble des doctorants RP2E puisse vivre leur thèse le plus paisiblement possible. Je remercie également l'ensemble de mes comparses avec qui j'ai eu l'occasion de siéger aux différents conseils : Mathilde, Maylis, Marie V, Marie D, David, Axel, Erwin, Jérémy et Anne ! Certains sont eux aussi déjà descendus du train, alors je leur souhaite bon voyage vers de nouvelles aventures ! D'autres ont encore quelques paysages à parcourir : bonne chance pour la suite du périple !

Un voyage en train de trois ans peut être, à bien des moments, éprouvant ! Mais grâce à la présence de certains voyageurs, ce voyage est devenu une aventure trépidante et purifiante ! Merci du fond du cœur à Guillaume, Victor, Gabin, Alexis, Vincent et Yannick, qui ont su rendre mon quotidien plus agréable ! Merci pour votre joie de vivre, votre écoute et pour parfois m'avoir fait croire que ce n'était pas possible que je puisse venir de la même planète que vous ! Au cours de ce voyage, j'ai eu la chance de te rencontrer, Mohammad. Merci, car grâce à toi mon niveau en anglais s'est certainement amélioré ! Mais surtout merci pour ta gentillesse débordante ! Merci pour tes sourires chaque matin, et ton imitation de ma danse des épaules, qui sans me vanter, rendait quelque chose de moins… bizarre chez moi que chez toi ! Tu es descendu du train avant moi, et à mon goût trop tôt, mais j'espère du fond du cœur que tu trouveras ta voie, tu le mérites amplement ! A Benjamin, alias poulet, boudin ou encore dodu, merci pour ton aide et tes dessins, qui m'ont aidé à plusieurs reprises et apparaissent même dans ce manuscrit ! Ces trois ans de voyage ont également mis sur mon chemin un drôle d'énergumène, qui par la suite s'est révélé être un ami en or, malgré la distance qui nous sépare aujourd'hui ! Etienne, je te remercie pour ces longues heures de discussion sur le boulot et nos vies respectives ! Merci pour ta bonne humeur, ta mèche blonde et pour ta loyauté au quotidien ! Tu es unique en ton genre, ça c'est sûr, mais c'est ce qui fait toutes tes qualités ! Pour toutes tes compétences scientifiques, tant sur le domaine de la biodiversité urbaine que sur les statistiques (je sais que tu retiendras à jamais ma liste de questions), merci à toi Quentin ! Mon QVette national, qui est malheureusement parti s'expatrier depuis quelques temps, reviens-nous vite ! On te prépare un truc d'enfer pour ton futur professionnel en plus ! Merci pour ton amitié, pour ton enthousiasme et pour tes encouragements qui m'ont énormément touchée tout au long de ces trois années ! Merci également d'avoir mis sur mon chemin ces deux machins qui m'en auront fait couler des larmes de rire : Nicolas et Romain ! Nicolas, promis j'évite les blagues sur les Vosgiens, si tu me promets d'éviter les blagues Monoprix ! Romain, j'oublie les Anne-couphènes si tu reviens très vite dans la région : il y a plein de woofing par ici j'en suis sûre ! Merci à vous deux pour votre énergie débordante et pour toujours avoir su renchérir sur mes délires les plus fous ! S'il y en a

avec qui j'ai vraiment vécu cette aventure de A à Z, puisque nous sommes montés et descendus aux mêmes stations, c'est bien toi Brice ! Merci pour toutes nos discussions sur nos thèses, qui finalement pouvaient se rapprocher dans bien des domaines ! Merci pour ta bonne humeur, d'avoir été présent même à distance (Marseille ce n'est pas vraiment le wagon d'à côté !) lors de ces coups de fils (qu'il aurait fallu faire plus souvent !!) et pour la découverte, souvent nocturne, de ta belle cité phocéenne ! Aurélie, nous avons également vécu le même voyage : même station de départ, même station d'arrivée ! Nous en aurons vécu des choses au cours de ces trois ans ! Nous avons eu la chance de mener un travail commun au préalable, de partager les journées doctorants Ademe et même d'aller au Sénat à deux ! Plus personnellement, je ne remercierai jamais assez le hasard de t'avoir mise sur mon chemin ! Merci pour ton accueil à Angers, merci pour ton amitié et pour les heures passées au téléphone à refaire le monde, et surtout les thèses ! Quel que soit le chemin que tu choisis maintenant, il t'appartient : fais-toi confiance ! Canard laqué pour toujours ! Enfin, si ce voyage avait marqué mes esprits, vous pouvez vous assurer qu'il restera inoubliable, grâce à votre rencontre, Clémentine et Séverine ! A trois, nous avons formé le « triopikeur », les « supers nanas » voire le « trio infernale » ! Merci pour votre présence au quotidien, pour votre soutien, pour votre amitié. Les mots ne seront probablement pas assez forts et il faudrait certainement une thèse pour raconter avec sincérité tout ce que l'on a pu vivre. Mais pour éviter les larmes qui couleront probablement sur vos joues, je resterai sobre. Séverine, merci d'être aussi folle que moi pour m'avoir suivi dans de nombreux fous-rires que seules nous pourrons à jamais comprendre ! Merci pour ta détermination quotidienne et pour ton franc parlé qui m'a tellement fait rire ! Merci aussi pour ton accueil dans ton appartement, pour les bbq, mais également les nuits sur le canapé (on remerciera encore une fois le pain dans le four !) ! Clémentine, merci pour ton entrain au quotidien, pour tous ces allers-retours dans les wagons Leclerc, Auchan, Cora, et tous ces paniers récupérés à l'Amap ! Merci pour tous les « faits maison » que tu as pu m'offrir ! Et du fond du cœur, merci pour ta gentillesse débordante qui est une de tes plus belles qualités, que tu as su mettre au profit de mon quotidien, au labo ou en dehors ! Les meilleurs moments de ce voyage resteront probablement les poulets rôtis du dimanche midi ! Nous en aurons vécu des choses toutes les trois ! Et notamment une première : l'inscription à la salle de sport ! Toutes ces séances viennent sûrement expliquer les quelques kilogrammes que j'ai pu prendre durant ce voyage ! On ne dira pas que 30% d'entre eux sont expliqués par les brioches dans le bureau ! En tout cas, merci pour ces quelques kilos de bonheur supplémentaires que je transporte avec moi au quotidien et qui me lient à jamais à vous deux !

Pour finir, ce trajet en train a pu être coupé, que dis-je, égayé, par quelques instants de retrouvailles avec mes amis. Merci à vous tous pour votre présence à mes côtés, pour votre confiance en moi et vos encouragements dans chaque étape de ce voyage ! Merci aux personnes que j'ai appris à découvrir : à Amélie et Alexandre, pour m'avoir accueillie si gentiment et pour ces moments de pause que j'ai pu vivre avec vous ; aux Amiénois Gabriel, Yann et Ludivine pour leur accueil et leur sympathie ; à Clément et Vanina pour leur accueil en Picardie et à Princesse Jérémy pour les séances relaxantes de SPA et la découverte des rallyes ! Merci également aux amis de plus longues dates, qu'ils soient bordelais ou parisiens, avec qui j'ai certes partagé moins de moments ces dernières années mais que je n'oublie pas. Merci à mon Lolo, pour toutes ces surprises organisées ! Merci à toi Mélanie, d'être encore là, 18 ans après, et pour toutes les bouffées d'air pur que tu m'as apportées, lors de nos vacances ou de mes retours à Bordeaux !

Enfin, je voudrai remercier du fond du cœur un certain nombre de personnes, qui font partie intégrante de moi-même, dont je suis fière d'avoir à mes côtés et que j'aime tout simplement d'une manière incommensurable. A mes frères, Stéfan et Dorian, merci pour vos encouragements. La vie n'a pas toujours été simple, mais malgré la distance, les quelques

moments que l'on a pu échanger tous les trois ces dernières années resteront de très forts moments. A ma maman, merci pour ton amour porté chaque jour, pour ta confiance à mon égard et pour la manière dont tu réussis à me faire prendre confiance en moi ! Je te remercie pour tes relectures et tes encouragements et plus globalement pour toutes les valeurs que tu as su m'inculquer, pour cette ténacité que tu as su m'apprendre à développer ! Un immense merci à mon papa, grâce à qui j'ai pu imaginer ce voyage en train : à l'époque, c'est bien toi qui m'avais transféré ce sujet de thèse ! Merci pour ton accompagnement au cours de ces trois ans, toi qui connais si bien les sols ! Merci du fond du cœur d'avoir été présent, malgré la distance qui nous sépare ! Au cours de ce voyage, j'ai également eu la chance de rencontrer ma belle-famille : merci à Sylvie et William pour leur chaleureux accueil, pour les gardes du chat et surtout pour leur gentillesse démesurée ! Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous avez pu m'apporter ces trois dernières années. Vous êtes des personnes extraordinaires ! Merci également à Yannick et Lucie ! Nous avons eu l'occasion de partager de très sympathiques moments, qu'il faudra veiller à organiser plus souvent à l'avenir !

Enfin, la plus belle rencontre de ce voyage c'est indéniablement toi, Ludo ! Tu as été un compagnon de route aidant, attentionné et aimant ! Tu as rendu mon quotidien merveilleux, apaisant et tu as su à maintes reprises me faire prendre une vraie bouffée d'air frais pour repartir toujours plus motivée dans cette aventure. Tu as compris cet emploi du temps souvent chargé et respecté mon engagement à 200% dans ce voyage. Pour tout cela merci ! Tu es une personne forte et exceptionnelle, qui possède de très nombreuses qualités. Je suis si chanceuse de t'avoir à mes côtés. Si je suis sûre d'une chose, c'est que le chemin que nous avons emprunté tous les deux ces dernières années nous permettra de construire à notre tour notre propre train, qui nous mènera vers de merveilleuses aventures : celles de notre vie à deux !

Préambule

Ce travail de recherche a été financé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (**ADEME**) et la **Région Lorraine** (puis **Grand-Est**). Il a été mené au sein de l'Université de Lorraine (**UL**) dans le Laboratoire Sols et Environnement (**LSE** UMR 1120 **UL-Inra**, **Pôle OTELo**-UL et **Département Environnement et Agronomie**-Inra), ainsi qu'au sein de l'Université d'Aix-Marseille (**AMU**) dans l'Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional (**IUAR**).

La stratégie scientifique du **LSE** répond aux questions posées par les pressions anthropiques majeures qui s'exercent sur la ressource en sols. Le caractère finalisé de ses recherches appelle le développement de procédés de traitement et/ou de valorisation des milieux très anthropisés basés sur les concepts du génie écologique. L'objectif ultime est ainsi de disposer de sols fonctionnels capables de rendre des services écosystémiques. La thèse s'inscrivait initialement dans le cadre des travaux de l'équipe « Technosol » (2013-2018) puis dans celui des travaux de l'axe « optimiser les services écosystémiques » (Oser 2018-).

L'**IUAR** est une institution universitaire spécialisée dans les formations en urbanisme, en aménagement et développement du territoire.

La thèse s'inscrit dans le projet de recherche « sols urbains et projets d'aménagement » (**Supra**), financé par l'ADEME (Appel à projets Graine) et réalisé en partenariat entre le LSE (coordinateur), Armines, le BRGM, EPHor (Agrocampus Ouest), Infosol (Inra) et l'IUAR. Le projet de recherche Supra vise à développer un outil d'aide à l'affectation des sols à l'échelle d'une aire urbaine par l'évaluation des services écosystémiques rendus par ses sols.

La thèse participe également au programme de recherche « **Destisol** », financé par l'ADEME (GESIPOL 2013) et réalisé en partenariat entre SCE (coordinateur), le Cerema, l'Epamsa, l'EPF Bretagne et le LSE. Destisol est un projet de recherche dont l'objectif principal est de développer un outil d'aide à la décision à l'attention des aménageurs pour orienter l'usage des sols à l'échelle d'un site de projet. Pour cela, Destisol vise à traduire, par une évaluation semi-quantitative, les propriétés bio-physico-chimiques d'un sol urbain en niveau de services, avec deux étapes intermédiaires que sont l'évaluation des niveaux de fonctions et des couvertures compatibles.

Plus globalement, les travaux s'insèrent dans la dynamique scientifique du Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Friches Industrielles (**Gisfi**), dispositif pluridisciplinaire voué à la recherche dans le domaine des sols très anthropisés, leur connaissance et leur gestion.

Sommaire

LISTE DES FIGURES **1**

LISTE DES TABLEAUX **5**

GLOSSAIRE **7**

LISTE DES ABREVIATIONS **9**

INTRODUCTION GENERALE **13**

CHAPITRE I – ETUDE DES SOLS URBAINS, DE LA NATURE EN VILLE AUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES **17**

I.1. DEFINITIONS ET POSITIONNEMENTS SCIENTIFIQUES **18**

I.1.1. LA FABRIQUE URBAINE 18
I.1.2. LA PEDOLOGIE URBAINE 22
I.1.3. LES SOLS URBAINS 24

I.2. LA CONSIDERATION GRANDISSANTE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DANS LA FABRIQUE URBAINE **28**

I.2.1. L'EVOLUTION DE LA PLACE ATTRIBUEE A LA NATURE EN MILIEU URBAIN 28
I.2.2. LA PRISE DE CONSCIENCE DES DEFIS ENVIRONNEMENTAUX DANS L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE 31
I.2.3. LA PRISE DE CONSCIENCE DES DEFIS ENVIRONNEMENTAUX A L'ECHELLE DU PROJET URBAIN 33
I.2.4. LES REPONSES AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DANS LA FABRIQUE URBAINE NECESSITENT LE RECOURS A L'INTERDISCIPLINARITE 34

I.3. LA NECESSAIRE PRESERVATION DES SOLS NATURELS ET L'ABONDANCE DES SOLS URBAINS **34**

I.3.1. L'ARTIFICIALISATION DES SOLS FRANÇAIS 35
I.3.2. LA NECESSAIRE PROTECTION DES SOLS AGRICOLES ET FORESTIERS 37
I.3.3. LA PARTIELLE PROTECTION JURIDIQUE DES SOLS EN EUROPE ET EN FRANCE 40
I.3.4. LA CONSIDERATION RELATIVE DES SERVICES OFFERTS PAR LES SOLS URBAINS 41

I.4. LES SOLS ANTHROPISES, UN SYSTEME HETEROGENE AUX PROPRIETES BIO-PHYSICO-CHIMIQUES SINGULIERES **42**

I.4.1. LES PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS URBAINS 42
I.4.2. LES SOLS URBAINS, MARQUÉS PAR DES CONTAMINATIONS RÉSIDUELLES 43
I.4.3. LES SOLS URBAINS, DES SOLS RÉCENTS 44
I.4.4. UNE FORTE HÉTÉROGÉNÉITÉ DANS LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE URBAINE 44

I.5. LES SOLS URBAINS A L'ORIGINE DE SERVICES ECOSYSTEMIQUES UTILES POUR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE **45**

I.5.1. LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDUS PAR LES SOLS URBAINS : L'EMERGENCE D'UN SUJET 45
I.5.2. L'UTILITE DE CONSIDERER LES SERVICES RENDUS PAR LES SOLS URBAINS DANS L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE 47
I.5.3. L'EVALUATION DE LA QUALITE DES SOLS 49

I.6. LA CONSIDERATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS PAR L'EVALUATION DE LEURS SERVICES ECOSYSTEMIQUES : PRESENTATION DU PROJET DE RECHERCHE DESTISOL **53**

I.6.1. Les objectifs scientifiques et operationnels de Destisol 53
I.6.2. Listes des indicateurs, couvertures, fonctions et services ecosystemiques consideres dans Destisol 54
I.6.3. L'outil d'aide a la decision Destisol 56

CONCLUSION ET QUESTIONNEMENTS SCIENTIFIQUES 58

CHAPITRE II – MATERIELS ET METHODES 61

II.1. MATERIELS 62

II.1.1. La mobilisation de trois aires urbaines 62
II.1.2. La selection des documents de planification territoriale 63
L'étude des documents de planification territoriale 63
La sélection des terrains d'étude 63
La sélection des documents de planification territoriale 64
Les aires urbaines retirées de l'analyse lexicale générale 64
Le matériel des deux analyses lexicales 65
II.1.3. La consideration de trois typologies de projets urbains 65
II.1.4. La mobilisation d'acteurs de la fabrique urbaine 65
La sélection des services de planification territoriale 65
La sélection des acteurs de l'urbanisme opérationnel 66

II.2. METHODES 67

II.2.1. La consideration des sols dans les ecrits et les discours de la planification territoriale 67
L'analyse lexicale des documents de planification 67
L'enquête nationale auprès d'acteurs de la planification territoriale 68
L'exploitation des résultats 70
II.2.2. La consideration des sols dans les discours des acteurs de l'urbanisme de projet 71
La grille d'entretien 71
L'exploitation des résultats 72
II.2.3. L'echantillonnage et la caracterisation des proprietes des sols en milieu urbain 72
La description de profils de sol et l'échantillonnage de sols urbains 73
La préparation des échantillons et les descriptions des sols en laboratoire 74
Les analyses des propriétés physiques et chimiques des sols urbains 75
L'exploitation des résultats 75
II.2.4. L'evaluation des services rendus par les sols en milieu urbain 75
La définition des zonages de sols supposés homogènes 76
L'utilisation de l'outil d'aide à la décision Destisol 86
L'exploitation des résultats donnés par Destisol 89
II.2.5. L'optimisation des services rendus par les sols en milieu urbain : la construction d'aires urbaines a haut niveau de services 90
L'atelier sur les sols urbains 90
La considération des sols dans l'élaboration de documents de planification 91
Le développement de l'agro-urbanisme 91

CHAPITRE III – ETAT DES LIEUX DE LA PRISE EN COMPTE DES SOLS DANS LA FABRIQUE URBAINE 93

III.1. RESULTATS 94

III.1.1. La prise en compte des sols dans les ecrits de la planification territoriale et les discours des acteurs de projets urbains 94
L'analyse lexicale de la considération du terme « sol » dans les documents de la planification territoriale 94

L'intérêt manifesté pour les sols par les acteurs de la planification territoriale et de l'urbanisme opérationnel *94*
L'analyse lexicale des considérations de « sol-surface » et « sol-ressource » dans les documents de la planification territoriale *95*
III.1.2. LA VARIABILITE DE LA CONSIDERATION DES SOLS COMME RESSOURCES DANS LES DOCUMENTS DE LA PLANIFICATION TERRITORIALE 96
L'influence des documents de planification *96*
L'influence de l'échelle afférente au document de planification *97*
L'influence du statut réglementaire des sous-parties des documents de planification *99*
L'influence quantitative et qualitative de la localisation des aires urbaines sur la considération du sol dans les documents de la planification territoriale *100*
L'influence de la distance au pôle urbain sur la considération des sols dans les PLU *101*
L'influence des facteurs urbanistiques des documents de la planification territoriale sur la considération des sols *103*
III.1.3. LA VARIABILITE DE LA CONSIDERATION DES SOLS COMME RESSOURCES DANS LES DISCOURS DES ACTEURS DE LA PLANIFICATION TERRITORIALE ET DE L'URBANISME OPERATIONNEL 105
La considération du «sol-ressource» dans les discours des acteurs de la planification territoriale *105*
La considération du « sol-ressource » dans les discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel selon la politique exercée par la Métropole *106*
La considération du « sol-ressource » dans les discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel selon leur profession *107*
La considération du « sol-ressource » dans les discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel selon le type de projet urbain sur lequel ils travaillent *107*
III.1.4. LA CONSIDERATION DES SOLS URBAINS DANS LA PLANIFICATION TERRITORIALE ET L'URBANISME OPERATIONNEL 108
La considération des sols urbains dans les documents de la planification territoriale *108*
La considération des sols urbains par les acteurs de l'urbanisme opérationnel *108*
La perception des fonctions et services rendus par les sols urbains par les acteurs opérationnels *110*

III.2. DISCUSSION 111

III.2.1. L'EMERGENCE D'UNE PRISE DE CONSCIENCE D'UNE NECESSAIRE PROTECTION DES SOLS NATURELS 111
La protection des sols naturels *111*
Le développement réfléchi de projets en extension urbaine *112*
III.2.2. L'UTILISATION RAISONNEE DES SOLS NATURELS 113
Les sols naturels : un meilleur potentiel que les sols urbains *113*
Les contraintes imposant une utilisation rationnelle de la terre végétale *114*
III.2.3. LA CONSIDERATION DES SOLS URBAINS PREND DE L'EPAISSEUR SUITE AUX EVOLUTIONS REGLEMENTAIRES IMPOSEES A LA PLANIFICATION DU TERRITOIRE ET A L'URBANISME OPERATIONNEL 116
La considération de la portance des sols urbains *117*
La considération du caractère pollué des sols urbains *117*
La considération du pouvoir filtrant des sols urbains *118*
La considération de la biodiversité des sols urbains *119*
III.2.4. LA CONSIDERATION LIMITEE DES SOLS URBAINS COMME RESSOURCE POUR REPONDRE AUX ENJEUX DE LA FABRIQUE URBAINE 121
Les sols urbains, systèmes complexes et sources d'imprévus pour les acteurs de la planification territoriale et de l'urbanisme opérationnel *121*
La faible considération des caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains au cours des projets d'aménagement urbain *122*
L'émergence d'un intérêt à considérer les caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains à l'échelle de l'urbanisme opérationnel *123*
La mise en évidence d'une dichotomie entre la planification territoriale et l'urbanisme de projet *126*

CONCLUSION **129**

CHAPITRE IV – PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS URBAINS **131**

IV.1. RESULTATS **132**

IV.1.1. LA DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS URBAINS 132
Les propriétés physiques et chimiques des sols urbains étudiés *132*
La comparaison des propriétés physiques et chimiques des sols urbains avec celles de sols agricoles, forestiers et industriels *136*
L'analyse des corrélations des caractéristiques physiques et chimiques des sols urbains *140*
L'influence des aires urbaines, des typologies de projets urbains et des sites d'étude sur les propriétés physiques et chimiques des sols urbains *143*
IV.1.2. L'ANALYSE DES FACTEURS INFLUENÇANT LES PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS URBAINS 146
La classification des sols urbains *146*
L'influence de la localisation spatiale et/ou de l'historique du site sur les propriétés des sols urbains *148*
L'influence des aires urbaines, des typologies de projets urbains et des sites d'étude sur le degré de modification anthropique des sols urbains *150*
IV.1.3. LA DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS FORTEMENT IMPACTES PAR LES ACTIVITES HUMAINES 153
Les corrélations des paramètres physiques et chimiques par groupe de sols *153*
Les particularités des paramètres physiques et chimiques des Technosols et Anthrosols *155*
IV.1.4. LA DEFINITION D'INDICATEURS D'ETAT DES SOLS URBAINS 161

IV.2. DISCUSSION **164**

IV.2.1. LE REFLET DU CONTEXTE PEDOCLIMATIQUE NATUREL DANS LES PROPRIETES BIO-PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS URBAINS 164
IV.2.2. LES CONSEQUENCES DE L'ANTHROPISATION SUR LES PROPRIETES BIO-PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS URBAINS 165
L'influence de l'anthropisation sur les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains *165*
L'influence de l'anthropisation sur la genèse et la composition des sols urbains *166*
IV.2.3. L'APPROCHE DES SOLS URBAINS PAR SELECTION D'UN NOMBRE RESTREINT D'INDICATEURS D'ETAT 167
IV.2.4. LA PROPORTION ET LA REPARTITION SPATIALE DES SOLS FORTEMENT ANTHROPISES AU SEIN DES AIRES URBAINES 168
La proportion des sols anthropisés dans les aires urbaines *168*
Le degré d'anthropisation des sols urbains est fortement corrélé à l'historique d'usages des sols *169*
La répartition spatiale des sols anthropisés au sein d'une aire urbaine *169*

CONCLUSION **170**

CHAPITRE V – DETERMINATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS PAR L'EVALUATION DE LEURS SERVICES ECOSYSTEMIQUES **171**

V.1. RESULTATS **172**

V.1.1. LA MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL DESTISOL SUR LES DIFFERENTS CAS D'ETUDES 172
La valeur des indicateurs *172*
L'évaluation des fonctions *172*
La détermination des couvertures de sol compatibles avec l'état des sols urbains *177*
L'évaluation des services écosystémiques *180*
V.1.2. L'INFLUENCE DES PROPRIETES DES SOLS SUR LES NIVEAUX DE FONCTIONS, COUVERTURES ET SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDUS 184
Les différences des niveaux de fonctions assurés par les sols urbains suivant leur appartenance à une classe de sol *184*
Les différences des potentiels d'accueil des couvertures selon les groupes de sols *189*

Les différences des aptitudes des sols urbains à rendre des services écosystémiques selon leur appartenance à un groupe de sol ... *190*

V.2. DISCUSSION ... **191**

V.2.1. L'ANALYSE CRITIQUE DE LA METHODE DE DETERMINATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS PAR L'EVALUATION DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES ... 191

La nécessaire rigueur des étapes préalables ... *191*

La mobilisation de méthodes robustes d'évaluation d'indicateurs sur le terrain et en laboratoire ... *193*

V.2.2. LES PISTES D'AMELIORATION DE L'OUTIL D'AIDE A LA DECISION DESTISOL ... 196

La révision de certaines règles de décision ... *196*

L'amélioration de la paramétrisation de l'outil Destisol ... *196*

Le nécessaire développement d'une méthodologie d'évaluation et d'estimation des services écosystémiques ... *197*

V.2.3. L'ADAPTATION DE LA METHODE D'EVALUATION EN FONCTION DU DEGRE D'ANTHROPISATION DES SOLS DU SITE DE PROJET URBAIN ... 198

L'adaptation du plan d'échantillonnage ... *198*

Le caractère optionnel du diagnostic de terrain ... *198*

V.2.4. LA COUVERTURE DE SOL COMME FACTEUR INHIBANT OU OPTIMISANT LES NIVEAUX DE SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDUS PAR LES SOLS URBAINS ... 198

V.2.5. L'IMPOSSIBILITE D'EXTRAPOLER LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDUS PAR LES SOLS FORTEMENT ANTHROPISES *VIA* UNE APPROCHE PAR TYPOLOGIE DE SOLS ... 199

CONCLUSION ... **200**

CHAPITRE VI – PRISE EN COMPTE DES POTENTIALITES DES SOLS DANS LA FABRIQUE URBAINE ... **203**

VI.1. DISCUSSION GENERALE A PORTEE SCIENTIFIQUE ... **204**

VI.1.1. LA CONSIDERATION DE NOUVEAUX INDICATEURS D'ETAT DANS L'EVALUATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS ... 204

L'intégration de paramètres physico-chimiques supplémentaires dans l'évaluation des services écosystémiques rendus par les sols urbains ... *204*

L'intégration de nouveaux paramètres biologiques dans l'évaluation des indicateurs d'état des sols urbains ... *205*

L'intégration de nouveaux paramètres relatifs à la contamination ... *206*

VI.1.2. L'INTEGRATION DE NOUVEAUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDU POSSIBLE PAR LE RECOURS A DES METHODOLOGIES DEVELOPPEES DANS D'AUTRES DISCIPLINES QUE LES SCIENCES DU SOL ET L'URBANISME OPERATIONNEL ... 206

VI.1.3. L'INTERET A CONSIDERER LES INTERFACES ET LE CARACTERE DYNAMIQUE DES SOLS URBAINS A L'ECHELLE DU SITE DE PROJET URBAIN ... 208

La prise en compte des interfaces de sols dans la description et l'évaluation de leurs potentialités à travers la mobilisation de l'écologie du paysage ... *208*

La considération du caractère dynamique des sols urbains dans l'évaluation de leurs potentialités ... *210*

VI.1.4. LE TRANSFERT DE LA DEMARCHE D'EVALUATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS D'UN SITE DE PROJET A L'ECHELLE D'UNE AIRE URBAINE ... 211

L'adaptation des méthodes de description et d'échantillonnage au changement d'échelle ... *211*

Le recours à la cartographie comme représentation des différentes informations relatives aux potentialités des sols urbains ... *213*

Les incidences d'une considération des potentialités des sols à l'échelle de l'aire urbaine sur l'aménagement du territoire ... *215*

VI.1.5. LA TRADUCTION DES INFORMATIONS SUR LES SOLS URBAINS DANS LA PLANIFICATION TERRITORIALE ... 217

La réglementation de la considération des potentialités des sols urbains : une nécessité ? ... *217*

L'intégration des informations relatives aux potentialités des sols urbains dans les documents d'urbanisme *218*
Vers la rédaction d'un nouveau document de planification territoriale ? *219*
VI.1.6. LES POTENTIALITES DES SYSTEMES « NATURELS » VERSUS « ARTIFICIELS » POUR REPONDRE AUX DEFIS ENVIRONNEMENTAUX 220
VI.2. DISCUSSION GENERALE A PORTEE OPERATIONNELLE 223
VI.2.1. LES RETOURS ET PERCEPTIONS DES ACTEURS DE L'URBANISME OPERATIONNEL SUR L'OAD DESTISOL 223
VI.2.2. L'INTEGRATION D'UNE DEMARCHE D'EVALUATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS DANS LES PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT D'UN PROJET URBAIN 225
CONCLUSION GENERALE 235
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 241
ANNEXES 257

Liste des figures

FIGURE 1 : POSITIONNEMENT DE LA THESE A LA CROISEE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, DE L'URBANISME OPERATIONNEL ET DE LA PEDOLOGIE URBAINE **15**
FIGURE 2 : HIERARCHIE DES DOCUMENTS DE PLANIFICATION FRANÇAIS ET LIENS D'OPPOSABILITE **19**
FIGURE 3 : SCHEMA CONCEPTUEL RELIANT LES COMPOSANTS DU SOL, LES FONCTIONS ET LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES . **24**
FIGURE 4 : EVOLUTION DES CONSIDERATIONS ATTRIBUEES AU SOL EN AGRONOMIE ET PEDOLOGIE **25**
FIGURE 5 : ESPACES A DOMINANTES URBAINE ET RURALE SELON LE ZONAGE EN AIRES URBAINES DE 2010 ..... **26**
FIGURE 6 : LES TROIS ESPACES A DOMINANTE URBAINE SELON LE ZAU DE L'INSEE **26**
FIGURE 7 : BIENFAITS OFFERTS PAR LA NATURE EN MILIEU URBAIN **28**
FIGURE 8 : SCHEMA REPRESENTATIF DE L'EVOLUTION DE LA PRISE EN COMPTE DES ESPACES VEGETALISES DANS LA FABRIQUE URBAINE **30**
FIGURE 9 : EVOLUTION DE LA PRISE EN COMPTE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DANS LA PLANIFICATION TERRITORIALE EN FRANCE **33**
FIGURE 10 : CHANGEMENT D'OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE NATIONALE, ENTRE 2006 ET 2014 ..... **36**
FIGURE 11 : TAUX D'ARTIFICIALISATION PAR DEPARTEMENT EN 2006 ..... **36**
FIGURE 12 : MODULATION MORPHOLOGIQUE DE LA DENSITE **38**
FIGURE 13 : DENSIFICATION EN DENTS CREUSES **38**
FIGURE 14 : AUGMENTATION DE L'INTERET DE L'ETUDE DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES, Y COMPRIS CEUX FOURNIS EN MILIEU URBAIN ET PAR LE COMPARTIMENT SOL – ENTRE 1995 ET 2016 ..... **46**
FIGURE 15 : LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES SONT PRINCIPALEMENT DISCUTES EN MILIEUX FORESTIERS ET AGRICOLES – ENTRE 1995 ET 2016 ..... **47**
FIGURE 16 : REPRESENTATION DE L'INDICE DE POLYVALENCE DES SOLS DONT UNE MOYENNE A ETE EFFECTUEE PAR ZONE DU PLU **50**
FIGURE 17 : LES DIFFERENTES ETAPES DE MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL DESTISOL **53**
FIGURE 18 : EXEMPLE DE FONCTIONNEMENT DE L'OUTIL DESTISOL APPLIQUE A UN PROJET D'AMENAGEMENT D'UNE FRICHE URBAINE **58**
FIGURE 19 : PROBLEMATIQUES SCIENTIFIQUES DU DOCTORAT **60**
FIGURE 20 : MATERIELS ET METHODES ENGAGES DANS LE DOCTORAT **62**
FIGURE 21 : METHODOLOGIE GENERALE DES ANALYSES LEXICALES DES DOCUMENTS DE PLANIFICATION **67**
FIGURE 22 : METHODOLOGIE GENERALE D'EXPLOITATION DES REPONSES AU SONDAGE ENVOYE AUX ACTEURS DE LA PLANIFICATION ET DE L'URBANISME **70**
FIGURE 23 : METHODOLOGIE GENERALE DE LA CONDUITE DES ENTRETIENS AVEC LES ACTEURS DE L'URBANISME OPERATIONNEL **71**
FIGURE 24 : METHODOLOGIE GENERALE DES CAMPAGNES DE DESCRIPTION ET D'ECHANTILLONNAGE DES SOLS URBAINS .. **73**
FIGURE 25 : OUVERTURE D'UNE FOSSE PEDOLOGIQUE ET OBSERVATION DU PROFIL DE SOL **73**
FIGURE 26 : SEPARATION DE LA FRACTION FINE (GAUCHE) ET GROSSIERE (DROITE) D'UN ECHANTILLON DE SOL **74**
FIGURE 27 : METHODOLOGIE GENERALE D'EVALUATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS **76**
FIGURE 28 : PLAN MASSE DE L'ILOT C DE L'ECOQUARTIER BIANCAMARIA ET LOCALISATION DU PERIMETRE D'INTERVENTION DANS LE CADRE DU DOCTORAT (ROUGE) **77**
FIGURE 29 : CARTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU SITE D'INTERVENTION **78**
FIGURE 30 : EVOLUTION HISTORIQUE DES OCCUPATIONS DE SOLS DU SITE D'ETUDE ENTRE 1956 (GAUCHE) ET 2002 (DROITE) **78**
FIGURE 31 : ZONAGE DES SOLS HOMOGENES DU SITE D'ETUDE ET LOCALISATION DES FOSSES PEDOLOGIQUES **79**
FIGURE 32 : PLAN GUIDE DE LA ZAC SAINTE-MARTHE ET LOCALISATION DU PERIMETRE D'INTERVENTION (ROUGE) **80**
FIGURE 33 : CARTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU SITE D'INTERVENTION (POINT ROUGE) **81**
FIGURE 34 : EVOLUTION HISTORIQUE DES OCCUPATIONS DE SOLS DU SITE D'ETUDE (FLECHE ROUGE) ENTRE 1957 (GAUCHE) ET 2008 (DROITE) **81**

FIGURE 35 : ZONAGE DES SOLS HOMOGENES DU SITE D'ETUDE ET LOCALISATION DES FOSSES PEDOLOGIQUES **82**
FIGURE 36 : PLAN GUIDE DU PROJET DE REQUALIFICATION DE NANTES-NORD ET LOCALISATION DU PERIMETRE D'INTERVENTION DANS LE CADRE DU DOCTORAT (ROUGE) **83**
FIGURE 37 : CARTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU SITE D'INTERVENTION **83**
FIGURE 38 : EVOLUTION HISTORIQUE DES OCCUPATIONS DE SOLS DU SITE D'ETUDE ENTRE 1954 (GAUCHE) ET 1964 (DROITE) **84**
FIGURE 39 : ZONAGE DES SOLS HOMOGENES DU SITE D'ETUDE ET LOCALISATION DES FOSSES PEDOLOGIQUES **85**
FIGURE 40 : SCHEMA DE DESTISOL : EVALUATION SEMI-QUANTITATIVE DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES **86**
FIGURE 41 : MODULE 1 DE L'OUTIL DESTISOL : LIENS INDICATEURS – FONCTIONS **87**
FIGURE 42 : MODULE 2 DE L'OUTIL DESTISOL : LIENS FONCTIONS – COUVERTURES **88**
FIGURE 43 : MODULE 3 DE L'OUTIL DESTISOL : REEVALUATION DES FONCTIONS DU COUPLE [SOL-COUVERTURE] **89**
FIGURE 44 : MODULE 4 DE L'OUTIL DESTISOL : LIENS FONCTIONS [SOL-COUVERTURE] – SERVICES ECOSYSTEMIQUES **89**
FIGURE 45 : METHODOLOGIE GENERALE MISE EN PLACE EN VUE D'UNE RECHERCHE DE L'OPTIMISATION DES SERVICES RENDUS PAR LES SOLS URBAINS AU COURS DU DEVELOPPEMENT DE STRATEGIES DE FABRIQUE URBAINE **90**
FIGURE 46 : INDICES D'OCCURRENCES DES MOTS ETUDIES DANS L'ANALYSE LEXICALE DE DOCUMENTS D'URBANISME 94
FIGURE 47 : CONSIDERATION DE « SOL-SURFACE » ET « SOL-RESSOURCE » DANS 105 DOCUMENTS DE PLANIFICATION **95**
FIGURE 48 : CORRELATION ENTRE LES FREQUENCES D'ECRITURE DE « SOL » ET DE « SOL-RESSOURCE » DANS 105 DOCUMENTS DE PLANIFICATION **96**
FIGURE 49 : INDICES D'OCCURRENCES DES MOTS ANALYSES PAR DOCUMENT D'URBANISME POUR LES 105 DOCUMENTS DE PLANIFICATION ETUDIES **97**
FIGURE 50 : INDICES D'OCCURRENCES DE « SOL-SURFACE » ET « SOL-RESSOURCE » PAR DOCUMENT D'URBANISME POUR LES 105 DOCUMENTS DE PLANIFICATION ETUDIES 97
FIGURE 51 : INDICES D'OCCURRENCES DE « SOL-SURFACE » ET « SOL-RESSOURCE » DANS LES PLU DES COMMUNES CONSTITUANT LES TROIS METROPOLES MGN, MAMP ET NM **98**
FIGURE 52 : DENSITE DES OCCURRENCES DE « SOL-SURFACE » ET « SOL-RESSOURCE » DANS LES PIECES DE 15 PLU **99**
FIGURE 53 : DENSITE DES OCCURRENCES DE « SOL-SURFACE » ET « SOL-RESSOURCE » DANS LES PIECES DE 15 SCOT **99**
FIGURE 54 : INDICES D'OCCURRENCES DE «SOL-SURFACE» ET «SOL-RESSOURCE» EN FONCTION DE 15 AIRES URBAINES. **100**
FIGURE 55 : INDICES D'OCCURRENCES DE « SOL-RESSOURCE » EN FONCTION DES 15 AIRES URBAINES ETUDIEES **101**
FIGURE 56 : INDICES D'OCCURRENCES DE « SOL-SURFACE » DANS LES PLU DES 3 METROPOLES, SELON LA DISTANCE AU POLE URBAIN **102**
FIGURE 57 : INDICES D'OCCURRENCES DE « SOL-RESSOURCE » DANS LES PLU DES 3 METROPOLES, SELON LA DISTANCE AU POLE URBAIN **103**
FIGURE 58 : OCCURRENCES DE « SOL-RESSOURCE » SELON LA DATE DE PUBLICATION DES 105 DOCUMENTS D'URBANISME **104**
FIGURE 59 : OCCURRENCES DE « SOL-RESSOURCE » SELON LA DATE DE PUBLICATION DES PLU DES COMMUNES DES METROPOLES MGN, MAMP ET NM **105**
FIGURE 60 : NOTE DE CONSIDERATION DU SOL COMME RESSOURCE ATTRIBUEE A CHAQUE ACTEUR AYANT REPONDU AU SONDAGE EN LIGNE **106**
FIGURE 61 : NOTE DE CONSIDERATION POUR LE SOL COMME RESSOURCE ATTRIBUEE AUX ACTEURS DE PROJETS URBAINS RENCONTRES LORS DES ENTRETIENS **106**
FIGURE 62 : CONSIDERATION DU SOL COMME RESSOURCE SELON LA PROFESSION DE L'ACTEUR DE PROJET URBAIN RENCONTRE LORS DES ENTRETIENS **107**
FIGURE 63 : CONSIDERATION DU SOL COMME RESSOURCE SELON LE PROJET URBAIN, DEFINIE A LA SUITE DES ENTRETIENS AVEC LES ACTEURS DE PROJET URBAIN **108**
FIGURE 64 : PRINCIPAUX SERVICES CONSIDERES PAR LES ACTEURS DE PROJETS URBAINS (SERVICES EXPRIMES) **110**
FIGURE 65 : SERVICES CONSIDERES COMME IMPORTANTS PAR LES ACTEURS DE PROJETS URBAINS (SERVICES NOTES) **111**
FIGURE 66 : PRESENTATION DES ENJEUX DE LA PROTECTION DES SOLS NATURELS ET LEUR TRADUCTION DANS LA PLANIFICATION TERRITORIALE ET L'URBANISME OPERATIONNEL **113**
FIGURE 67 : EVOLUTION DE L'UTILISATION DES SOLS NATURELS EN REUTILISATION DE SOLS URBAINS SUR SITE **116**

FIGURE 68 : DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE SYSTEMIQUE ET FONCTIONNELLE DES SOLS URBAINS DANS LA FABRIQUE URBAINE **120**
FIGURE 69 : DEVELOPPEMENT AU COURS DU TEMPS DES VISIONS « SOLS URBAINS SYSTEMES FONCTIONNELS » ET « SOLS URBAINS MATERIAUX RESSOURCE » DANS LA FABRIQUE URBAINE **126**
FIGURE 70 : COMPARAISON DU PH MOYEN DE TERRES DE SURFACE DE SOLS D'AIRES URBAINES (N=35) AVEC CELUI DE TERRES DE SURFACE DE SOLS FORESTIERS (N=582), PRAIRIAUX (N=623), AGRICOLES (N=820), DE VIGNOBLES ET VERGERS (N=48), DE JARDINS URBAINS (N=104) ET DE SUITMA (N=229) **136**
FIGURE 71 : COMPARAISON DE LA TENEUR EN CARBONE ORGANIQUE DE TERRES DE SURFACE DE SOLS D'AIRES URBAINES (N=35) AVEC CELLE DE TERRES DE SURFACE DE SOLS FORESTIERS (N=582), PRAIRIAUX (N=623), AGRICOLES (N=820), DE VIGNOBLES ET VERGERS (N=48), DE JARDINS URBAINS (N=104) ET DE SUITMA (N=229) **137**
FIGURE 72 : COMPARAISON DE LA TENEUR MOYENNE EN AZOTE TOTAL DE TERRES DE SURFACE DE SOLS D'AIRES URBAINES (N=35) AVEC CELLE DE TERRES DE SURFACE DE SOLS FORESTIERS (N=582), PRAIRIAUX (N=623), AGRICOLES (N=820), DE VIGNOBLES ET VERGERS (N=48), DE JARDINS URBAINS (N=104) ET DE SUITMA (N=229) **138**
FIGURE 73 : COMPARAISON DE LA TENEUR MOYENNE EN NICKEL DE TERRES DE SURFACE DE SOLS D'AIRES URBAINES (N=35) AVEC CELLE DE TERRES DE SURFACE DE SOLS FORESTIERS (N=582), PRAIRIAUX (N=623), AGRICOLES (N=820), DE VIGNOBLES ET VERGERS (N=48), DE JARDINS URBAINS (N=104) ET DE SUITMA (N=229) **139**
FIGURE 74 : COMPARAISON DE LA TENEUR MOYENNE EN PLOMB DES TERRES DE SURFACE DE SOLS D'AIRES URBAINES (N=35) AVEC CELLE DE TERRES DE SURFACE DE SOLS FORESTIERS (N=582), PRAIRIAUX (N=623), AGRICOLES (N=820), DE VIGNOBLES ET VERGERS (N=48), DE JARDINS URBAINS (N=104) ET DE SUITMA (N=229) **140**
FIGURE 75 : CERCLE DE CORRELATION DES VARIABLES PHYSIQUES ET CHIMIQUES ANALYSEES POUR L'ENSEMBLE DES PROFILS (N=37) ET HORIZONS (N=96) DES SOLS URBAINS ETUDIES **142**
FIGURE 76 : CORRELOGRAME DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'ENSEMBLE DES PROFILS (N=37) ET HORIZONS (N=96) DES SOLS URBAINS ETUDIES **143**
FIGURE 77 : GRAPHIQUE DE L'ENSEMBLE DES PROFILS (N=37) ET HORIZONS (N=96) DES SOLS URBAINS ETUDIES, REGROUPES SELON LES AIRES URBAINES (A), LES PROJETS URBAINS (B) ET LES SITES D'ETUDE (C) (N=96) **145**
FIGURE 78 : DISTANCE AU POLE URBAIN DE L'ENSEMBLE DES PROFILS DE SOL ETUDIES SELON LEUR APPARTENANCE A UN GROUPE DE SOL (N=37) **148**
FIGURE 79 : ENSEMBLE DES SOLS URBAINS ETUDIES REGROUPES SELON LEUR GROUPE D'APPARTENANCE (N=10) EN FONCTION DE L'OCCUPATION DE SOL **149**
FIGURE 80 : OCCUPATION DU SOL EN FONCTION DE L'ELOIGNEMENT AU POLE URBAIN POUR L'ENSEMBLE DES PROFILS DE SOL ETUDIES (N=37) **149**
FIGURE 81 : ORIGINE URBAINE OU INDUSTRIELLE DES ARTEFACTS DE L'ENSEMBLE DES TECHNOSOLS ETUDIES (TOUS HORIZONS) EN FONCTION DE L'ELOIGNEMENT AU POLE URBAIN (N=13) **149**
FIGURE 82 : CERCLE DE CORRELATION DES VARIABLES PHYSIQUES ET CHIMIQUES ANALYSEES (HAUT) ET GRAPHIQUE DES INDIVIDUS SELON LEUR APPARTENANCE A UN GROUPE DE SOL (BAS) POUR L'ENSEMBLE DES PROFILS (N=37) ET HORIZONS (N=96) DES SOLS URBAINS ETUDIES **151**
FIGURE 83 : CERCLES DE CORRELATION DES VARIABLES PHYSIQUES ET CHIMIQUES ANALYSEES POUR L'ENSEMBLE DES HORIZONS DE SOLS URBAINS APPARTENANT AU GROUPE « TECHNO-ANTHROSOL » (N=51) (HAUT) ET L'ENSEMBLE DES PROFILS ET HORIZONS DES SOLS URBAINS APPARTENANT AU GROUPE « NON TECHNO-ANTHROSOL » (N=45) (BAS) **154**
FIGURE 84 : COMPARAISON DES VALEURS DE PH POUR LES PROFILS ET HORIZONS DES SOLS URBAINS ETUDIES, SELON LEUR APPARTENANCE AUX GROUPES « NON TECHNO-ANTHROSOL » (N=45) OU « TECHNO-ANTHROSOL » (N=51) **155**
FIGURE 85 : COMPARAISON DES TENEURS EN CALCAIRE TOTAL POUR LES PROFILS ET HORIZONS DES SOLS URBAINS ECHANTILLONNES AU SEIN DES AIRES URBAINES DE MGN ET MAMP (N=65), SELON LEUR APPARTENANCE AUX GROUPES « NON TECHNO-ANTHROSOL » (N=14) OU « TECHNO-ANTHROSOL » (N=51) **156**
FIGURE 86 : COMPARAISON DES POURCENTAGES EN ELEMENTS GROSSIERS POUR LES PROFILS ET HORIZONS DES SOLS URBAINS ETUDIES, SELON LEUR APPARTENANCE AUX GROUPES « NON TECHNO-ANTHROSOL » (N=45) OU « TECHNO-ANTHROSOL » (N=51) **156**

FIGURE 87 : COMPARAISON DES TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE POUR LES PROFILS ET HORIZONS DES SOLS URBAINS ETUDIES, SELON LEUR APPARTENANCE AUX GROUPES « NON TECHNO-ANTHROSOL » (N=45) OU « TECHNO-ANTHROSOL » (N=51) **157**
FIGURE 88 : COMPARAISON DES TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE DE L'ENSEMBLE DES PROFILS DE SOL ETUDIES, SELON LEUR APPARTENANCE AUX HORIZONS DE SURFACE (N=16) OU INFERIEURS (N=29) POUR LES « NON TECHNO-ANTHROSOL » ET AUX HORIZONS DE SURFACE (N=19) OU INFERIEURS (N=32) POUR LES « TECHNO-ANTHROSOL » **158**
FIGURE 89 : DENSITE RACINAIRE SELON L'APPORT EN TERRE VEGETALE (TN) POUR L'ENSEMBLE DES HORIZONS (N=51) ET DES PROFILS (N=16) DES SOLS URBAINS ETUDIES APPARTENANT AUX GROUPES DES TECHNOSOLS ET ANTHROSOLS **158**
FIGURE 90 : EVOLUTION DES TENEURS EN MATIERE ORGANIQUE (GAUCHE) ET EN AZOTE TOTALE (DROITE) SELON LA PROFONDEUR DU PROFIL DE SOL POUR DEUX TECHNOSOLS ET DEUX CAMBISOLS (N=4) **159**
FIGURE 91 : EVOLUTION DES TENEURS EN ZINC (GAUCHE), PLOMB (CENTRE) ET EN CADMIUM (DROITE) SELON LA PROFONDEUR DU PROFIL DE SOL POUR UN STAGNOSOL, UN CAMBISOL ET UN PLANOSOL (N=3) **160**
FIGURE 92 : CORRELOGRAME DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'ENSEMBLE DES PROFILS (N=16) ET HORIZONS (N=51) DES SOLS URBAINS ETUDIES APPARTENANT AU GROUPE « TECHNO-ANTHROSOL » **162**
FIGURE 93 : CORRELOGRAME DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'ENSEMBLE DES PROFILS (N=21) ET HORIZONS (N=45) DES SOLS URBAINS ETUDIES APPARTENANT AU GROUPE « NON TECHNO-ANTHROSOL » **163**
FIGURE 94 : SERVICES ECOSYSTEMIQUES EVALUES DESTISOL POUR LES SOLS DE 3 ZONES DE SITES DE PROJETS POUR LA COUVERTURE « JARDINS POTAGER ET ORNEMENTAL » **181**
FIGURE 95 : SERVICES ECOSYSTEMIQUES EVALUES PAR DESTISOL POUR LES SOLS DE 3 ZONES DE SITES DE PROJETS POUR LA COUVERTURE « VOIES DE CIRCULATION SANS VEGETATION » 182
FIGURE 96 : SERVICES ECOSYSTEMIQUES EVALUES PAR DESTISOL POUR LE SOL DE LA ZONE 1 DE BIANCAMARIA (MGN) ET 3 TYPES DE COUVERTURES DE SOL **183**
FIGURE 97 : SERVICES ECOSYSTEMIQUES EVALUES PAR DESTISOL POUR LE SOL DE LA ZONE 2 DU PLAN D'AOU (MAMP) ET 3 TYPES DE COUVERTURES DE SOL **183**
FIGURE 98 : SERVICES ECOSYSTEMIQUES EVALUES PAR DESTISOL POUR LE SOL DE LA ZONE 1 DE LA JAGUERE (NM) ET 3 TYPES DE COUVERTURES DE SOL 183
FIGURE 99 : MOYENNE DES NOTES DES FONCTIONS EVALUEES PAR DESTISOL, SELON LES GROUPES DE SOLS (N=37) **185**
FIGURE 100 : NOTES EVALUEES PAR DESTISOL POUR LES FONCTIONS « FERTILITE HERBACEES » ET « FERTILITE JARDINS », SELON LE GROUPE DE SOLS (N=37) **186**
FIGURE 101 : NOTES EVALUEES PAR DESTISOL POUR LA FONCTION « STOCKAGE DE CARBONE », SELON LE GROUPE DE SOLS (N=37) **187**
FIGURE 102 : NOTES EVALUEES PAR DESTISOL POUR LA FONCTION « NIVEAU DE CONTAMINATION PAR LES POLLUANTS », SELON LE GROUPE DE SOLS (N=37) **188**
FIGURE 103 : APPORT EN TERRE VEGETALE SELON LES NOTES OBTENUES PAR DESTISOL POUR LES FONCTIONS « FERTILITE HERBACEES » ET « FERTILITE JARDINS » - DANS LE CAS DES TECHNOSOLS (N=16) **188**
FIGURE 104 : APPORT EN TERRE VEGETALE SELON LES COMPATIBILITES D'ACCUEIL DE LA COUVERTURE « PELOUSE ET PRAIRIE URBAINES » EVALUES PAR DESTISOL – DANS LE CAS DES TECHNOSOLS (N=16) **190**
FIGURE 105 : FORMALISATION D'UNE CARTE DES SOLS EN TROIS DIMENSIONS AU COURS DES ETUDES PREALABLES **193**
FIGURE 106 : NOTES DES INDICATEURS EVALUES SUR LE TERRAIN EN FONCTION DES NOTES DES INDICATEURS MESURES EN LABORATOIRE, POUR LES INDICATEURS « TEXTURE » (A), « FRACTION ANTHROPIQUE TECHNOGENIQUE » (B), « % ELEMENTS GROSSIERS » (C) ET « COULEUR » / « TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE » (D) – TOUS PROFILS (N=37) ET HORIZONS DE SOLS CONFONDUS (N=96) **194**
FIGURE 107 : LISTE DES INDICATEURS EVALUES ET MESURES PAR L'OUTIL DESTISOL ET PROPOSITION D'INDICATEURS SUPPLEMENTAIRES EN VUE D'UNE AMELIORATION DE LA DETERMINATION DES POTENTIALITES DES SOLS URBAINS . **195**
FIGURE 108 : DIFFERENCE DE NOTATION ENTRE LE SYSTEME « NOTES ENTIERES » ET LE SYSTEME « NOTES PROGRESSIVES » **197**
FIGURE 109 : USAGE DU SOL ET SERVICES ECOSYSTEMIQUES **222**
FIGURE 110 : DEVELOPPEMENT D'UN PROJET URBAIN PILOTE OPTIMISANT LES POTENTIALITES DES ECOSYSTEMES DU SITE DE PROJET **234**

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : LES DIFFERENTS ACTEURS INTERVENANT AU COURS DE LA DEFINITION D'UN PROJET URBAIN **21**
TABLEAU 2 : LES DIFFERENTES CONSIDERATIONS DU SOL URBAIN SELON LES DISCIPLINES **25**
TABLEAU 3 : PROPOSITION DE CATEGORIES DU SUITMAS BASEE SUR LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDUS **48**
TABLEAU 4 : LES SOLS FOURNISSENT DES SERVICES CAPABLES DE REPONDRE AUX PRINCIPAUX ENJEUX ET PROBLEMATIQUES DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE EN MILIEU URBAIN **49**
TABLEAU 5 : INDICATEURS D'ETAT UTILISES DANS DES OUTILS D'EVALUATION DE LA QUALITE DES SOLS URBAINS **52**
TABLEAU 6 : LISTE D'INDICATEURS DU SOL A CONSIDERER DANS LA DEMARCHE D'EVALUATION DE LA QUALITE DU SOL. **54**
TABLEAU 7 : LISTE DE FONCTIONS DU SOL A CONSIDERER DANS LA DEMARCHE D'EVALUATION DE LA QUALITE DU SOL **55**
TABLEAU 8 : NOMENCLATURE DES COUVERTURES DE SOL **55**
TABLEAU 9 : PROPOSITION DE LISTE REDUITE DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDUS PAR LES TECHNOSOLS **56**
TABLEAU 10 : DOCUMENTS DE PLANIFICATION ETUDIES POUR L'ANALYSE LEXICALE GENERALE **64**
TABLEAU 11 : LISTE DES DIX PROJETS URBAINS ETUDIES DANS LE CADRE DU DOCTORAT **65**
TABLEAU 12 : LISTE DES PROFESSIONS ET ORGANISMES MOBILISES POUR LES ENTRETIENS AVEC LES ACTEURS DE L'URBANISME OPERATIONNEL **66**
TABLEAU 13 : NOMBRE DE ZONES DE SOLS HOMOGENES ET DE FOSSES PEDOLOGIQUES PAR SITE D'INTERVENTION **85**
TABLEAU 14 : TABLE DE CORRESPONDANCE DES TERMES ANALYSES ET DES CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES DES AIRES URBAINES ET DES CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES AUX DOCUMENTS D'URBANISME **104**
TABLEAU 15 : CONTRAINTES ET OPPORTUNITES DES SOLS URBAINS LORS DE LA DEFINITION D'UN PROJET URBAIN **109**
TABLEAU 16 : PROFONDEUR, NOMBRE D'HORIZONS ET DENSITE RACINAIRE DE L'ENSEMBLE DES PROFILS DES SOLS URBAINS ETUDIES (N=37) **133**
TABLEAU 17 : GROUPE ET QUALIFICATIFS PRINCIPAUX DE L'ENSEMBLE DES PROFILS DES SOLS URBAINS ETUDIES **147**
TABLEAU 18 : NOTES ATTRIBUEES PAR DESTISOL AUX FONCTIONS RELATIVES AU FONCTIONNEMENT DU SOL POUR L'ENSEMBLE DES PROFILS DE SOLS ETUDIES (N=37) **173**
TABLEAU 19 : NOTES ATTRIBUEES PAR DESTISOL AUX FONCTIONS RELATIVES A LA FERTILITE PHYSICO-CHIMIQUES POUR L'ENSEMBLE DES PROFILS DE SOL ETUDIES (N=37) ET POUR DIFFERENTS TYPES DE COUVERTS VEGETAUX **174**
TABLEAU 20 : NOTES ATTRIBUEES PAR DESTISOL AUX FONCTIONS RELATIVES A LA CIRCULATION ET LA RETENTION D'EAU POUR L'ENSEMBLE DES PROFILS DE SOLS ETUDIES (N=37) **175**
TABLEAU 21 : NOTES ATTRIBUEES PAR DESTISOL AUX FONCTIONS RELATIVES AU NIVEAU DE CONTAMINATION, A LA RETENTION PHYSIQUE ET A LA DEGRADATION DES POLLUANTS POUR L'ENSEMBLE DES PROFILS DE SOLS ETUDIES ... **176**
TABLEAU 22 : POURCENTAGE DE COMPATIBILITE EVALUEE PAR DESTISOL, ENTRE L'ETAT DES SOLS URBAINS (N=37) ET DES COUVERTURES SCELLEES **177**
TABLEAU 23 : POURCENTAGE DE COMPATIBILITE EVALUEE PAR DESTISOL, ENTRE L'ETAT DES SOLS URBAINS (N=37) ET DES COUVERTURES SEMI-SCELLEES **178**
TABLEAU 24 : POURCENTAGE DE COMPATIBILITE EVALUE PAR DESTISOL, ENTRE L'ETAT DES SOLS URBAINS (N=37) ET DES COUVERTURES NON SCELLEES **180**
TABLEAU 25 : MOYENNE DES NOTES EVALUEES PAR DESTISOL POUR L'ENSEMBLE DES FONCTIONS ET SELON LES GROUPES DE SOLS (N=37) **185**
TABLEAU 26 : MOYENNE DES POURCENTAGES DE COMPATIBILITE DE L'ETAT DES SOLS EVALUES PAR DESTISOL AVEC DES COUVERTURES DE SOL NON SCELLEES, SELON LES GROUPES DE SOLS (N=37) **189**
TABLEAU 27 : MOYENNE DES NOTES EVALUEES PAR DESTISOL POUR LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES, SELON LES CLASSES DE SOLS (N=37) **191**

Glossaire

Aire urbaine : ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave, formé par un pôle urbain de plus de 10 000 emplois et par sa couronne périurbaine

Alur : Loi pour l'accès au logement et à un urbanisme rénové (n° 2014-366 du 24 mars 2014)

Aménagement du territoire / planification territoriale : action collective menée par l'Etat sur un territoire donné pour organiser la répartition harmonieuse des populations, des activités et des infrastructures dans l'espace et dans le temps

Artéfacts : substances solides ou liquides qui ont été créées ou considérablement modifiées par l'Homme ; qui ont été amenées en surface par l'activité humaine d'une profondeur à laquelle elles n'étaient pas influencées par les processus de surface

Assistance à la maîtrise d'ouvrage : conseil auprès de la maîtrise d'ouvrage, sur une compétence en particulier

Couverture de sol : couverture physique (et biologique) de la surface des terres émergées

Document d'urbanisme : document public régissant l'aménagement d'un territoire à une échelle définie et permettant de garantir un équilibre entre le renouvellement urbain, le développement urbain maîtrisé, le développement de l'espace rural et la préservation des espaces affectés aux activités agricoles et forestières et aux espaces naturels

Elément grossier : constituants minéraux du sol de diamètre supérieur à 2 mm

Fabrique urbaine : processus par lequel le tissu urbain se transforme et évolue

Fonction écosystémique : interaction entre les composantes biotiques et abiotiques du sol (ex : stockage de carbone)

Horizon de sol : couche de sol homogène qui se distingue d'une autre par son état, sa couleur et son fonctionnement

Indicateur d'état : paramètre biologique, physique ou chimique d'un sol mobilisé pour décrire le fonctionnement de celui-ci

Interdisciplinarité : qui est relatif à plusieurs champs disciplinaires

Maîtrise d'œuvre : entité qui réalise un projet urbain, qui en garantit la qualité

Maîtrise d'ouvrage : entité qui commande, finance et définit les objectifs d'un projet urbain

Planification territoriale : dispositif politique ayant pour objectif la prédiction du contexte et la mise en cohérence des actions, publiques et privées, dans un domaine et/ou un espace, pour une durée et à une échéance déterminée

Potentialité : aptitude d'un sol à produire de la biomasse (et plus largement différents usages dans le contexte urbain), définie selon le tryptique climat - qualité du sol – système de culture (usage anthropique dans le cas d'un sol urbain)

Profil de sol : ensemble des horizons d'un sol

Projet urbain : expression architecturale et urbaine qui définit et met en œuvre des mesures d'aménagement sur un territoire urbain donné

Qualité bio-physico-chimique : aptitude d'un sol à fonctionner au sein et dans les limites des écosystèmes naturels ou aménagés, afin de maintenir la productivité végétale et animale, maintenir ou améliorer la qualité de l'eau et de l'air, et soutenir la santé humaine et les besoins d'habitation

Service écosystémique : bienfaits, directs et indirects, que retirent les sociétés humaines du fonctionnement des écosystèmes (ex : régulation du climat)

Sol anthropisé : sol dont les propriétés et la pédogénèse sont dominées par leur modification anthropique, tels que les Anthrosols et les Technosols

Sol urbain : sol situé dans une aire urbaine, pouvant être caractérisé par des modifications anthropiques majeures, mais pouvant également faire référence à un sol dont l'historique d'usage est moins impacté par les activités humaines

Unité urbaine : commune ou ensemble de communes présentant une zone de bâti continu qui compte au moins 2 000 habitants

Urbanisme opérationnel : expression architecturale et urbaine définie au cours d'un projet urbain

Liste des abréviations

Al : Aluminium

AMO : Assistance à maîtrise d'ouvrage

An : Artéfact naturel

At : Artéfact technogénique

B : Site de projet urbain de Biancamaria

BTP : Bâtiment et travaux publics

$CaCO_3$: Carbonate de calcium

Ca_{ech} : Calcium échangeable

Cd : Cadmium

CEC : Capacité d'échange cationique

CM : Site de projet urbain du Champ de Manœuvre

Co : Cobalt

C_{org} : Carbone organique

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

CV : Centre-ville

DOO : Document d'orientations et d'objectifs

E : Site de projet urbain d'Euromed

EG : Eléments grossiers

ENSAIA : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires

ENSAN : Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

ENSP : Ecole Nationale Supérieure de Paysage

Fe : Fer

HC : Site de projet urbain de la Haie Cerlin

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

IUAR : Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional d'Aix-Marseille

K_{ech} : Potassium échangeable

LB : Site de projet urbain de La Boissière

LJ : Site de projet urbain de La Jaguère

LSE : Laboratoire Sols et Environnement

MAMP : Métropole d'Aix-Marseille Provence

Mg_{ech} : Magnésium échangeable

MGN : Métropole du Grand Nancy

MJC : Site de projet urbain de la MJC des 3 Maisons

Mn : Manganèse

Mo : Molybdène

MO : Matière organique

MOA : Maîtrise d'ouvrage

MOE : Maîtrise d'œuvre

MV_{app} : Masse volumique apparente

Na_{ech} : Sodium échangeable

Ni : Nickel

NM : Nantes Métropole

N_{tot} : Azote total

OAD : Outil d'aide à la décision

PA : Site de projet urbain du Plan d'Aou

PADD : Projet d'aménagement et de développement durable

Pb : Plomb

PDU : Plan de déplacement urbain

PH : Site de projet urbain du Plateau de Haye

PLH : Programme local de l'habitat

PLU : Plan local d'urbanisme

PLUi : Plan local d'urbanisme intercommunal

P_{Olsen} : Phosphore Olsen

RPF : Référentiel pédologique français

SCoT : Schéma de cohérence territorial

SDAGE : Schéma d'aménagement et de gestion des eaux

SM : Site de projet urbain de Sainte-Marthe

SRCAE : Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie

SRCE : Schéma régional des cohérences écologiques

S/T : Taux de saturation

SUITMA : Sols urbains, industriels, de trafic, miniers et militaires

Tl : Thallium

t_n : Terre végétale apportée

WRB : Word reference base for soil resources

ZAC : Zone d'aménagement concerté

Zn : Zinc

Introduction générale

Au 1er janvier 2018, 4,2 milliards d'êtres humains vivaient en ville, soit 55% de la population mondiale (Banque Mondiale, 2018). Ce pourcentage s'élevait à 51% en 2010 et à 46% en 2000 (Banque Mondiale, 2018). Selon les prédictions, le nombre de citadins pour les années à venir continuera de s'accroître et s'élèvera à près de 66% en 2050. Ces évolutions démographiques touchent également la France, puisqu'au recensement de 2015 près de 80% de sa population était considérée comme urbaine, contre 76% en 2000 (Banque Mondiale, 2018).

Ces tendances démographiques se répercutent sur la dynamique du développement des espaces urbains. Afin de loger l'intégralité des populations citadines toujours plus nombreuses, le développement des aires urbaines est allé dans le sens d'une augmentation de la superficie des espaces urbanisés au cours des dernières années. En 2009, ces espaces recouvraient 3,5 millions de km^2 du globe terrestre, soit 2,6% de la surface de la Terre (hors Antarctique et Groenland). Selon les projections, la couverture terrestre urbaine aura augmenté de 1,2 million de km^2en 2030 (Seto *et al*., 2012). En France métropolitaine, la surface de l'espace urbain s'est accrue de 19% entre 1999 et 2010, passant de 100 022 km^2 à 118 757 km^2 (INSEE, 2011).

Ces évolutions urbaines françaises ont eu des conséquences sur les stratégies de gestion des sols dans l'aménagement du territoire (Chalot, 2015). Les évolutions réglementaires et les documents d'urbanisme ont en effet traduit et intégré, au cours du temps, une considération renforcée des sols agricoles et forestiers, dans le but de protéger les bienfaits qu'ils offrent aux sociétés humaines : régulation du climat, infiltration de l'eau, production de biomasse à vocation alimentaire ou énergétique ou encore la production de matières premières (*e.g.* bois, fibre). Cette prise de conscience a amené à limiter l'urbanisation des sols naturels et à tendre vers une reconstruction de la ville sur elle-même (loi Alur, 2014) (Légifrance, n.d.).

Cette urbanisation croissante des territoires vient amplifier les enjeux environnementaux déjà existants en milieu urbain, voire en créer de nouveaux (*e.g.* production de déchets, infiltration de l'eau, qualité de l'air, phénomène d'îlot de chaleur urbain, fragmentation de l'écosystème urbain, besoin en matières premières et transformées pour la production d'alimentation ou d'énergie) (Margules, 1992 ; Adelmann, 1998). Par conséquent, les stratégies du développement urbain, déclinées à l'échelle de l'urbanisme opérationnel, doivent tenir compte de la concurrence foncière existante entre les services urbains d'une part (*e.g.* activités, logements, bureaux, commerces, transports) et les défis environnementaux

d'autre part (*e.g.* régulation du climat et des inondations, protection de la biodiversité, production de biomasse alimentaire) (Bolund et Hunhammar, 1999 ; Chambers *et al.*, 2016). Ces dernières années, le développement des services urbains a par exemple trouvé réponse dans (i) la rénovation de bâtiments et quartiers déjà existants, (ii) l'augmentation de la densité urbaine et (iii) la réhabilitation de friches urbaines et industrielles souvent qualifiées de délaissés (Légifrance, n.d.). Quant aux défis environnementaux, les acteurs de la fabrique urbaine ont tenté d'y répondre à travers la mise en place de mesures législatives relatives à la protection de la qualité de l'air et de l'eau ainsi qu'à la nature en ville (Merlin et Choay, 2009 ; Prevot-Julliard et Clavel, 2007). Si l'efficacité de ces mesures réglementaires sur la réalité des constructions de projets urbains est parfois questionnée (Rousseaux *et al.*, 2012), il est observé que depuis quelques années maintenant, et notamment depuis 2010 (loi n°2010-788 portant sur l'engagement national pour l'environnement) (Légifrance, n.d.), le processus d'urbanisation opérationnel se fait de plus en plus en considérant les intérêts majeurs qu'offre la présence d'une végétation en milieu urbain au regard des enjeux environnementaux (*e.g.* infiltration de l'eau, rétention des polluants atmosphériques, esthétiques). Or, le développement d'une végétation, y compris en milieu urbain, ne peut se faire sans la présence d'un substrat : le sol. A cet égard, le sol est devenu un élément incontournable de la programmation urbaine : il est le support des bâtiments et des infrastructures, il est le lieu d'habitat de la biodiversité et il est le substrat sur lequel se développent les végétaux.

A cet égard, l'aménagement du territoire et l'urbanisme opérationnel présentent un certain nombre d'enjeux environnementaux communs (*e.g.* préservation des sols agricoles et naturels via la lutte contre l'artificialisation des sols, développement de la nature en ville via la mise en place d'une trame verte et bleue, régulation des émissions de gaz à effet de serre *via* le développement de transports en commun et « doux ») (croissant gris de la Figure 1) qui questionnent l'objet « sol urbain ». Pourtant, l'impression est donnée que les acteurs de la fabrique urbaine considèrent les sols urbains uniquement comme une réserve foncière, prenant rarement en compte sa troisième dimension, ou la prenant en compte uniquement pour des enjeux relatifs à l'infiltration de l'eau, à la portance ou à la pollution. Il s'avère ainsi que les stratégies des acteurs de la fabrique urbaine n'intègrent pas, ou peu, les bénéfices que pourraient apporter les sols urbains dans la réponse aux défis environnementaux, principalement en tant que supports de biodiversité et de végétation. Une illustration de la faible considération apportée aux bienfaits potentiels offerts par les sols urbains s'illustre par le recours quasi-systématique à des apports de terre végétale issue de milieux naturels ou agricoles pour l'implantation de végétaux en ville (Rokia *et al.*, 2014). La place des sols urbains dans les stratégies de développement des aires urbaines mérite ainsi d'être discutée.

A ce titre, il s'avère que les connaissances développées en agronomie urbaine, et plus précisément en pédologie urbaine (cercle orange de la Figure 1), permettent d'accroitre la connaissance de ce système anthropisé (*e.g.* genèse, état, fonctionnement) (Deffontaines, 1992 ; Schwartz *et al.*, 2001a ; Spaltenstein, 2015). Si la recherche sur les sols urbains s'avère récente au regard de celle menée sur les sols naturels, agricoles et forestiers (Morel *et al.*, 2014), il existe des programmes qui permettent d'appréhender le fait qu'en milieu urbain, les sols sont capables de rendre des services écosystémiques participant à la viabilité des sociétés humaines (De Groot *et al.*, 2002 ; Schindelbeck *et al.*, 2008 ; Dominati *et al.*, 2010 ; Adhikari et Hartemink, 2015).

Motiver par l'ensemble de ces enjeux scientifiques et opérationnels, ce travail de doctorat s'intéresse à développer une recherche interdisciplinaire, se situant à la réunion des champs disciplinaires de la fabrique urbaine et de la pédologie urbaine (triangle rouge de la Figure 1) dans le but de répondre aux questions suivantes :

- (i) de quelle manière les sols des milieux urbains peuvent-ils contribuer à répondre aux défis environnementaux qui se posent de manière spécifique à la fabrique urbaine (aménagement du territoire et urbanisme opérationnel) ? ;
- (ii) une prise en compte avancée des services offerts par les sols urbains peut-elle conduire à amplifier la gestion raisonnée des sols agricoles, forestiers et urbains, en préservant les sols les plus multifonctionnels et en optimisant leurs usages ?

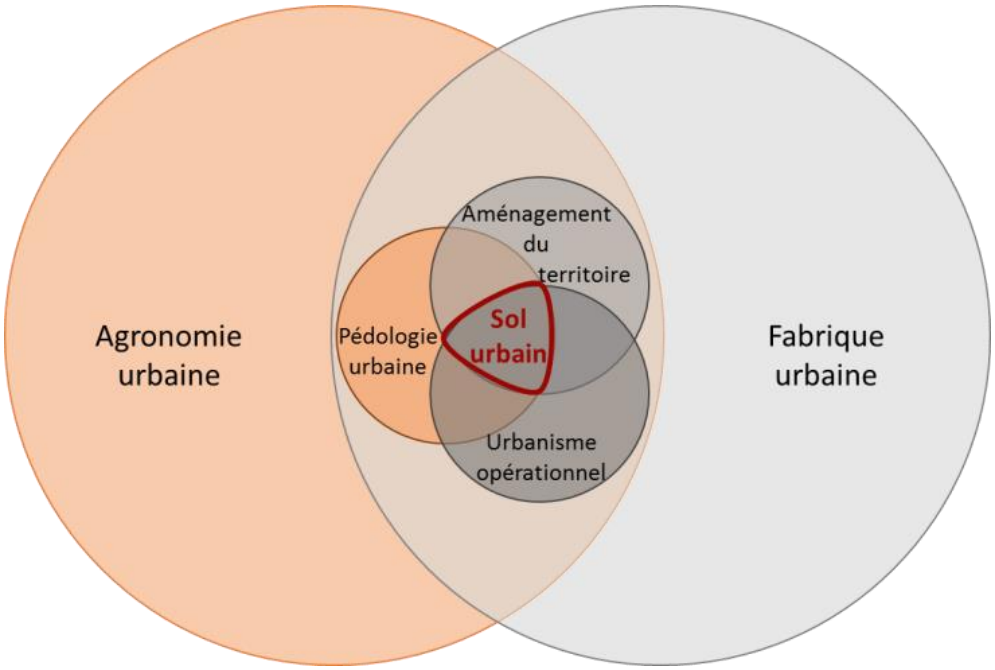


Figure 1 : Positionnement de la thèse à la croisée de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme opérationnel et de la pédologie urbaine, en vue d'améliorer les connaissances sur les sols urbains et de proposer une gestion raisonnée des sols

Les constats et la problématique scientifique exposés précédemment amènent à l'émergence de trois objectifs scientifiques majeurs.

Le premier objectif scientifique consiste à comprendre quelle est **la réponse des stratégies de développement des villes aux enjeux environnementaux urbains**. Cela permet notamment de mettre en exergue la considération portée aux sols urbains dans la réponse à ces défis environnementaux.

Le deuxième objectif scientifique vise à **alimenter les recherches actuellement menées en pédologie urbaine sur l'état (caractéristiques bio-physico-chimiques) et le fonctionnement (les fonctions assurées) des sols urbains, notamment sur les niveaux de services écosystémiques qu'ils sont aptes à fournir**. Ce deuxième objectif est également l'occasion de comprendre comment les méthodologies de recherche développées sur les sols urbains s'attachent à considérer la complexité singulière de ce système, différent à cet égard des sols agricoles et forestiers.

Enfin, le troisième objectif se situe à l'interface de la recherche scientifique et de l'opérationnel. D'une part, il vise à **comprendre s'il est utile, et *a fortiori* possible, de considérer les services offerts par les sols urbains dans les stratégies de l'urbanisme opérationnel**. D'autre part, ce troisième objectif vise à **comprendre comment l'appréhension des services écosystémiques fournis par les sols modifie la manière de faire un projet urbain en vue d'apporter des réponses aux enjeux environnementaux urbains.**

Chapitre I – Etude des sols urbains, de la nature en ville aux services écosystémiques

Etat de l'art

A la suite des Conférences de Vancouver et d'Aalborg, respectivement en 1976 et 1994, la ville devient un acteur majeur de la considération de l'environnement dans le cadre d'une recherche de développement urbain durable (Cournoyer-Gendron, 2014). A partir de là, de nombreuses actions se sont développées afin de garantir un développement conjoint des villes (*e.g.* accueil des populations, offre de services et d'infrastructures, création d'économie) et une protection de l'environnement (Wheeler et Beatley, 2014). Cette dernière s'est notamment traduite dans les stratégies d'aménagement des espaces urbains par une évolution de la place et du rôle de la nature dans la ville (Mehdi *et al.*, 2012) et une protection des sols naturels, agricoles et forestiers, compte tenu des intérêts qu'ils offrent aux sociétés humaines (*e.g.* régulation du climat, production de biomasse, infiltration des eaux (ADEME, 2015). A ce titre, les sols urbains apparaissent comme des oubliés des politiques de gestion des sols en France et du droit de l'environnement (Billet, 2018). Pourtant, l'agronomie, et plus précisément la pédologie urbaine, sont des sciences qui étudient ce système anthropisé, dans l'objectif de fournir des connaissances sur sa composition et son fonctionnement. Convaincus que les sols urbains peuvent, au même titre que les sols naturels, agricoles et forestiers, participer à la durabilité environnementale, des pédologues et urbanistes travaillent sur des projets de recherche relatifs à la qualité des sols et à la manière dont ils sont aptes à contribuer aux enjeux environnementaux urbains. A ce titre, le programme de recherche Destisol vise à développer une méthodologie d'évaluation des services écosystémiques des sols urbains afin de considérer la qualité des sols anthropisés dans les stratégies de la fabrique urbaine.

I.1. Définitions et positionnements scientifiques

I.1.1. La fabrique urbaine

La fabrique urbaine désigne le processus par lequel le tissu urbain, c'est-à-dire les régions, les départements, les villes, les quartiers ou encore les îlots, se transforme et évolue (Noizet, 2013). Dans la littérature scientifique, les articles et ouvrages de nombreux auteurs (Noizet, 2013 ; Desjardins, 2017 ; Merlin, 2009 ; Le Goix, 2016) permettent de comprendre que cette notion est liée à de multiples échelles d'intervention (Desjardins, 2017), essentielles à définir.

De l'aménagement du territoire à la planification territoriale

Dans ses écrits, la première échelle de la fabrique urbaine distinguée par Desjardins (2017) est celle de l'aménagement du territoire. L'**aménagement du territoire**, qui renvoie dans la littérature à la **planification territoriale**, se définit par une action collective et volontaire menée par l'Etat sur un territoire donné (*e.g.* Etat, Région, Département) (Desjardins et Guéneau de Lamarlière, 2016). Les objectifs sont d'y organiser la répartition harmonieuse des populations, des activités et des infrastructures dans l'espace et dans le temps (Merlin, 2009 ; Merlin et Choay, 2009 ; Desjardins, 2017).

Plusieurs lois et dispositifs réglementaires fondent l'histoire de la planification territoriale en France. Tout d'abord, la Loi Cornudet de 1919 (renforcée par celle de 1924), encouragea les villes de plus de 10 000 habitants, communes du département de la Seine, les stations balnéaires et les villes considérées comme artistiques ou sinistrées, à se doter d'un « plan d'aménagement, d'embellissement et d'extension ». Le 30 décembre 1967, la loi d'orientation foncière (LOF) imposa aux communes de se doter de deux documents d'urbanisme : le plan d'occupation des sols (POS) et le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme (SDAU), qui sont devenus avec la loi SRU (13 décembre 2013) le plan local d'urbanisme (PLU) et le schéma de cohérence territoriale (SCoT). L'histoire de la planification territoriale est ainsi liée à celle des **documents de planification**. Ce sont des documents publics, régissant l'aménagement d'un territoire à échelle définie (*e.g.* Région, Département, intercommunalité, commune) et permettant de garantir un équilibre « entre le renouvellement urbain, un développement urbain maîtrisé, le développement de l'espace rural, d'une part, et la préservation des espaces affectés aux activités agricoles et forestières et la protection des espaces naturels et des paysages, d'autre part, en respectant les objectifs du développement durable » (Code de l'Urbanisme, article L.121-1) (Légifrance, n.d.). Ces documents ont également des objectifs définis : certains traitent du logement à l'instar du programme local de l'habitat (PLH), d'autres des transports, comme le plan de déplacements urbains (PDU), d'autres encore

de la biodiversité comme le schéma régional des cohérences écologiques (SRCE), d'autres du climat comme le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) et d'autres encore de l'eau à l'instar du schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE). Enfin, en plus d'être liés à une échelle et une thématique précise, une des spécificités de ces documents de planification est qu'ils sont soumis entre eux à un rapport normatif (Figure 2). Selon les cas, ces documents doivent être conformes (niveau d'opposabilité le plus contraignant), compatibles ou prendre en compte (niveau d'opposabilité le moins contraignant) les documents d'échelle supérieure.

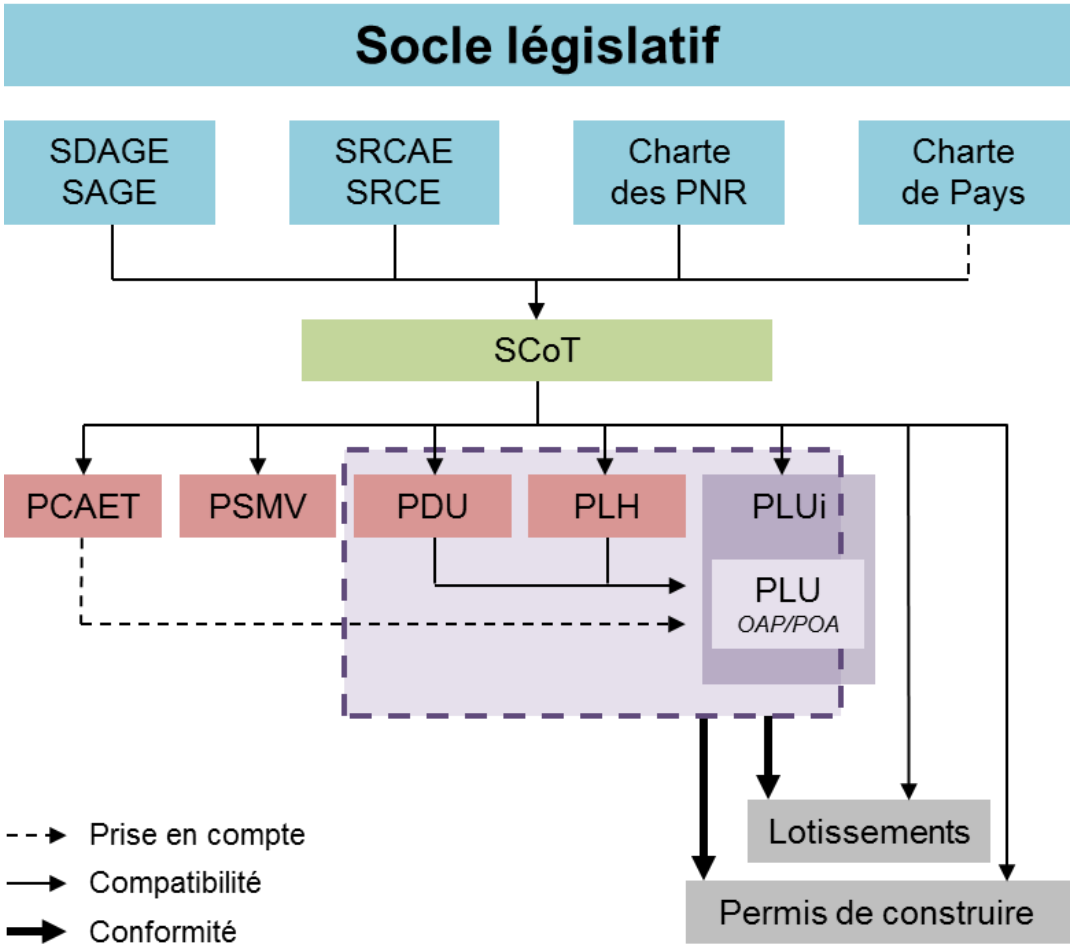


Figure 2 : Hiérarchie des documents de planification français et liens d'opposabilité, *d'après l'Agence Scalen*

Enfin, il s'agit de noter que de nombreux acteurs régissent la planification territoriale. A ses débuts, l'Etat, à travers la Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale (DATAR) exerce le rôle de décideur pour cette planification territoriale. A partir de 1982, après la politique de décentralisation de l'Etat, ce sont les Régions et les Départements qui jouent un rôle important. Au fur et à mesure du temps, notamment vers la fin du XX^{ème} siècle, certaines compétences sont ensuite transmises aux différents services (*e.g.* urbanisme,

planification) des communes, intercommunalités et métropoles (*e.g.* permis de construire, rénovation urbaine, écoles maternelles et élémentaires). D'autres organismes sont également impliqués dans l'aménagement du territoire, comme par exemple les agences d'urbanisme, créées en 1967 par la loi LOF, qui développent une expertise sur les différents domaines de l'urbanisme et du développement territorial (*e.g.* planification, habitat, mobilités, économie, environnement).

De l'urbanisme opérationnel au projet urbain

La seconde échelle distinguée par Desjardins (2017), est celle de l'urbanisme, renvoyant à l'échelle de la ville et du quartier. En France, la planification territoriale régit ce qui est communément appelé « l'**urbanisme opérationnel** », expression architecturale et urbaine définit au cours d'un projet urbain (Merlin et Choay, 2009). L'urbanisme opérationnel donne ainsi lieu au **projet urbain**, qui se définit comme « une démarche d'initiative publique qui a pour objet de définir un cadre et une stratégie d'action en vue d'induire des dynamiques urbaines (ou un processus de mutation urbaine) en prenant en compte les logiques des agents et les jeux d'acteurs et en articulant les différents registres d'action aux différentes échelles inférant sur ses conditions de concrétisation » (Avitabile, 2005). En France, les objectifs des projets urbains sont régis par les stratégies d'aménagement énoncées par les documents d'urbanisme.

Il existe aujourd'hui plusieurs façons de faire du projet urbain en France, chacune correspondant à des logiques spatiales, des contextes et des enjeux différents. Quelques formes dominent : la requalification ou **rénovation urbaine** qui prend place au sein d'une ville dense et sur une parcelle déjà construite et qui est une procédure ANRU (Etat) ; la démarche d'**écoquartier**, qui est le comportement emblématique de la ville durable et qui peut prendre place en ville dense ou en péri-urbain ; l'opération *ex-nihilo* ou l'**extension urbaine** sur un territoire agricole ou naturel qui est une procédure de spéculation foncière régulée par la planification du territoire.

Enfin, la réalisation d'un projet urbain nécessite la présence de différents acteurs (Gorioux, 2013). La revue de la littérature permet à ce titre de distinguer six grands types d'acteurs intervenant au cours d'un projet urbain, dont les rôles et liens sont explicités dans le tableau ci-dessous (Tableau 1).

Tableau 1 : Les différents acteurs intervenant au cours de la définition d'un projet urbain

Acteurs	Rôles	Exemples	Remarques
Maîtrise d'ouvrage (MOA)	Commande, finance et définit les objectifs du projet urbain	Collectivité territoriale ; Promoteur immobilier ; Etat	Peut faire appel à une : - MOA déléguée - Assistance à maîtrise d'ouvrage
Maîtrise d'ouvrage déléguée (MOA déléguée)	Réaliser tout ou une partie des missions de la MOA, dans le cas où cette dernière ne présente pas toutes les compétences requises pour le développement du projet	-	Peut prendre des décisions à la place de la MOA
Assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO)	Joue le rôle de conseil auprès de la MOA, sur une compétence en particulier	Bureau d'étude spécialisé en biodiversité ; transports ; énergie	Ne peut pas prendre de décision à la place de la MOA
Aménageur	Définit les conditions juridiques, techniques et financières de mise en œuvre du projet et assure la maîtrise foncière du terrain	Sociétés mixtes ou privées	Achète le terrain, l'aménage et le revend à des opérateurs urbains
Maîtrise d'œuvre (MOE)	Réalise le projet urbain, en garantit la qualité	Architecte ; Urbaniste ; Paysagiste ; Ingénieur ; Bureau d'études	Un projet urbain nécessité la mobilisation de plusieurs MOE, chacune spécialisée dans un domaine spécifique
Bâtiment et travaux publics (BTP)	Réalise et met en pratique tout ce qui a été dessiné et discuté par la MOE et MOA	Entreprise de travaux publics	-

L'échelle de l'architecte

La dernière échelle considérée dans les écrits de Desjardins (2017) est celle du **bâtiment**. Elle s'exprime à travers les formes architecturales définit par les architectes concepteurs lors d'un projet urbain. C'est la plus fine échelle de la fabrique urbaine, qui fait intervenir architectes, paysagistes ainsi que de nombreuses autres compétences liées au monde du bâtiment (*e.g.* BTP, génie civil).

L'étude de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme opérationnel

Compte tenu des objectifs de ces trois différentes pratiques de la fabrique urbaine et des objectifs scientifiques de ce doctorat, le présent manuscrit s'attachera uniquement à l'analyse de la considération du sol relative à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme opérationnel. Concernant l'aménagement du territoire, cette analyse se fondera exclusivement sur l'étude des documents de planification territoriale, considérés comme des discours normés, politiques et publics exprimant la stratégie d'aménagement d'un territoire défini. Du côté de l'urbanisme opérationnel, l'analyse s'attachera exclusivement à l'étude des discours des acteurs. Ce présent manuscrit ne discutera pas de la considération du sol dans les démarches projectuelles de la fabrique urbaine. Les lectures historiques et théoriques des courants de l'urbanisme de composition qui auraient pu ou non intégrer la question des sols ne sont par conséquent pas abordées dans ce travail de doctorat.

I.1.2. La pédologie urbaine

L'agronomie est la science de gestion des sols (Deffontaines, 1992), composée d'un ensemble de disciplines venant éclairer la pratique agricole, la connaissance des sols et la production de cultures. Basée sur des principes scientifiques et technologiques, l'agronomie étudie les facteurs biologiques, chimiques, économiques et sociaux, qui influencent ou affectent le processus de production. De ce fait, l'**agronomie urbaine** étudie les processus de production de cultures en milieux anthropisés.

Discipline constitutive de l'agronomie (Spaltenstein, 2015), la pédologie s'attache à étudier les processus de formation et d'évolution des sols. De ce fait, la **pédologie urbaine** vise à donner des éléments de compréhension du fonctionnement des sols urbains. Cette pratique se fonde sur de nombreux concepts, essentiels à décrire en préambule de cet état de l'art.

Le système « sol »

Dans sa définition la plus commune, le **sol** est le « compartiment à l'interface de la lithosphère, de l'hydrosphère, de l'atmosphère et de la biosphère » (Girard *et al.*, 2011). Dans la littérature scientifique, le sol est décrit comme « la couche supérieure de la croûte terrestre, provenant de l'altération du matériau-parent sous des processus climatiques, physiques, chimiques et biologiques, composée de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants » (ISO, 2015). A ce titre, la composition d'un sol dépend de nombreux facteurs abiotiques (*e.g.* climat, nature du matériau-parent) et biotiques (*e.g.* abondance et diversité des communautés faunistiques, floristiques et microbiennes) (Baize et Jabiol, 2011).

Les propriétés biologiques, physiques et chimiques des sols

En sciences du sol, le système sol est décrit par ses **propriétés** (i) **biologiques** (*e.g.* cycle de l'azote, cycle du carbone, abondance microbienne) (Bispo *et al.*, 2009a ; Cluzeau *et al.*, 2012), (ii) **physiques** (*e.g.* texture, structure) (Tisdall et Oades, 1982 ; Séré, 2007) et (iii) **chimiques** (*e.g.* cations échangeables, pH, capacité d'échange cationique) (Tessier *et al.*, 1996 ; Summer, 1999).

La qualité agronomique des sols

Ces propriétés bio-physico-chimiques déterminent la qualité d'un sol (Mausbach et Tugel, 1997). Dans la littérature, la **qualité agronomique** d'un sol est définie comme l' « **aptitude d'un sol à fonctionner** au sein et dans les limites des écosystèmes naturels ou aménagés, afin de maintenir la productivité végétale et animale, maintenir ou améliorer la qualité de l'eau et de l'air, et soutenir la santé humaine et les besoins d'habitation » (Doran, 2002 ; Karlen *et al.*, 2003). De nombreux auteurs s'entendent à préciser que la qualité d'un sol dépend

et ne peut se définir que par rapport à l'usage du sol (*e.g.* agricole, forestier, urbain) (Sojka et Upchurch, 1999 ; Jolivet *et al.*, 2006 ; IUSS, 2014).

Les potentialités des sols

En français, le terme « **potentialité** » désigne la possibilité d'**exploiter les ressources en fonctions de certains facteurs** (Hubert et Mathieu, 1992). En agronomie, cette notion est majoritairement utilisée dans le milieu agricole, où les contraintes sont définies par le **climat**, le **sol** (ses propriétés bio-physico-chimique et donc sa qualité) et le **système de culture** (plante) ; et où les ressources font références à la **possibilité d'un sol à produire de la biomasse** (Hubert et Mathieu, 1992). Aussi, dans ce contexte agricole, ce terme est majoritairement utilisé en vue d'évaluer la fertilité d'un sol.

La mobilisation de ce concept issu du monde agricole en milieu urbain induit néanmoins quelques complexités. Tout d'abord, le milieu urbain se différencie du milieu agricole par le phénomène de l'îlot de chaleur urbain. Ensuite, les sols des milieux urbains peuvent être sensiblement différents, compte tenu notamment du fait qu'une grande partie de ces sols ne sont pas des systèmes cultivés (avec production de plantes). A ce titre, les sols urbains accueillent une diversité d'usages autres que la culture de plantes. L'ensemble de ces éléments amènent à penser que les **potentialités d'un sol urbain** peuvent être définies, en référence avec ce qui est admis en milieu agricole, selon le triptyque **climat** (urbain) – **sol** (urbain) – **usage** (urbain). Dans ce contexte anthropisé, les potentialités d'un sol urbain soulignent ses **possibilités à produire des usages**. Cette idée est relativement proche de ce qui est définie dans la littérature par la notion de « services écosystémiques » (Seignobos et Moukouri-Kuoh, 2000).

Les fonctions et services écosystémiques assurés par les sols

Les **fonctions écosystémiques** sont les interactions entre les composantes biotiques et abiotiques du sol (Schindelbeck *et al.*, 2008). Elles peuvent être d'ordre biologique (*e.g.* dénitrification), physique (*e.g.* infiltration de l'eau) et chimique (*e.g.* sorption des ions) (Dominati *et al.*, 2010).

Ces fonctions génèrent par la suite des **services écosystémiques**, utiles au bien-être des sociétés humaines (De Groot *et al.*, 2002). Ce concept a été élaboré dans une vision anthropocentrée de la nature, pour évaluer la contribution de cette dernière au bien-être et à l'activité économique humaine (De Groot *et al.*, 2002 ; Breure *et al.*, 2012 ; Walter *et al.*, 2014). Dans la littérature scientifique, les services écosystémiques sont décrits comme « les bienfaits, directs et indirects, que retire l'Homme de la nature » (Adhikari et Hartemink, 2015). Plus récemment, ce concept a été défini comme « les avantages socio-économiques retirés par l'Homme de son utilisation durable des fonctions écologiques

des écosystèmes que l'Homme peut éventuellement modifier ou exploiter en apportant du capital ou du travail » (CGDD, 2014). A ce titre, les services écosystémiques sont donc le produit final retiré par les sociétés humaines du fonctionnement de la nature, quand les fonctions écosystémiques en sont les processus intermédiaires (Figure 3).

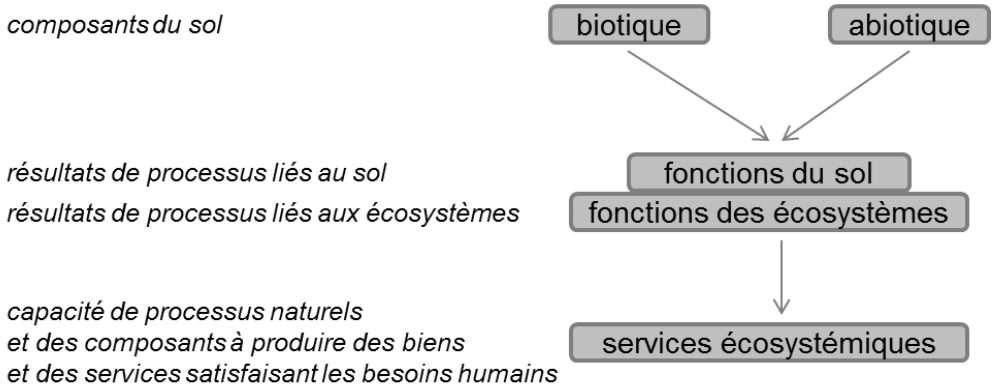


Figure 3 : Schéma conceptuel reliant les composants du sol, les fonctions et les services écosystémiques, *d'après Dominati* et al.*, 2010*

I.1.3. Les sols urbains

Définir l'objet **sol urbain** n'est pas chose aisée, force est de constater que chaque discipline propose sa propre définition de ce système. Analyser les évolutions des définitions du mot « sol » dans les deux disciplines considérées pour ce doctorat et étudier l'évolution de la définition du concept de l' « urbain » en urbanisme et aménagement du territoire, permet de donner une définition de ce système pour ce présent manuscrit.

Evolution des définitions accordées au « sol »

En agronomie et pédologie, les considérations accordées au sol ont évolué au cours du temps afin d'élargir la nature de leur objet d'étude, et prendre en compte, notamment, les systèmes modifiés par les sociétés humaines (Figure 4). Jusqu'en 1880, la définition du sol en agronomie et pédologie est principalement orientée vers l'agriculture : le sol est un milieu de cultures pour les plantes, utile pour les sociétés humaines (*e.g.* production d'aliments, de fibres). Au début du XX^{ème} siècle, le caractère « géologique » du sol apparait, mais le sol reste une entité statique jusque dans les années 1960, moment à partir duquel les définitions données témoignent du caractère « systémique » du sol et appréhendent les relations entre ce système, les plantes et les organismes. Enfin, dans ces disciplines, la considération du sol a évolué jusque récemment, appréhendant à partir du début des années 2000 les systèmes fortement anthropisés, décrits comme Technosols et Anthrosols dans la world reference base (WRB) et comme Anthroposols dans le référentiel pédologique français (RPF). Aujourd'hui,

ces classifications ne cessent d'évoluer, permettant ainsi de préciser au fur et à mesure la définition du sol.

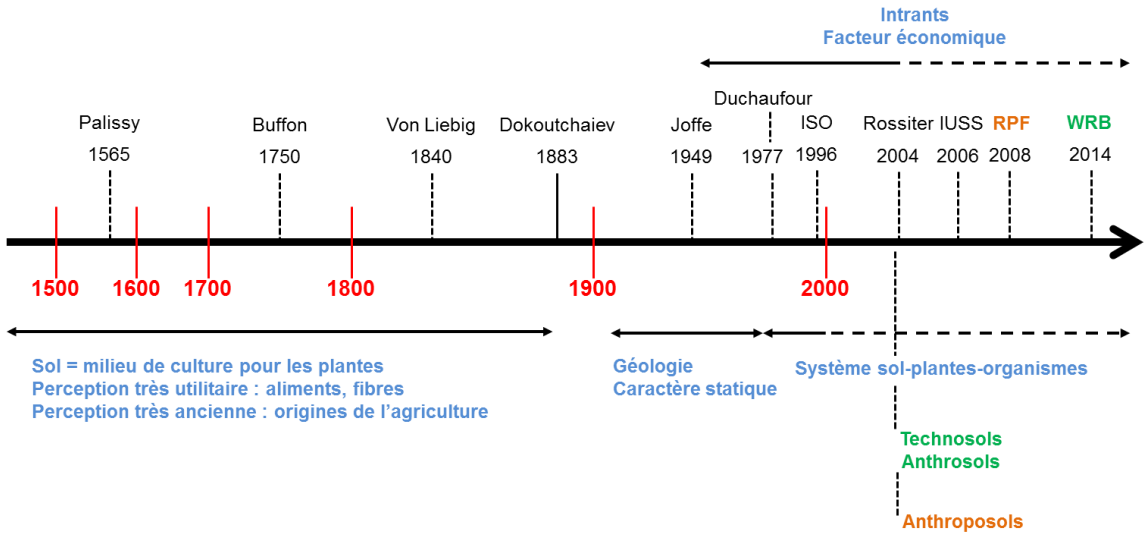


Figure 4 : Evolution des considérations attribuées au sol en agronomie et pédologie

Du côté de la fabrique urbaine, il ne semble pas y avoir eu d'évolution de la définition du sol, celui-ci étant décrit depuis les prémices de cette pratique comme une surface permettant la viabilité des sociétés humaines et notamment le support d'activités et d'infrastructures (Tableau 2). Seules quelques compétences précises de la fabrique urbaine font intervenir dans les réflexions la troisième dimension verticale des sols urbains (*e.g.* hydrologie, génie civil, écologie). A ce titre, cette considération en trois dimensions se rapproche de celle portée par les sciences du sol. Cependant, les intérêts à considérer les trois dimensions du sol diffèrent d'une discipline à l'autre. La pédologie urbaine étudie davantage le rapport sol-plantes et la composition des sols, quand les recherches liées à la fabrique urbaine renvoient à la connaissance des sols en tant qu'habitat pour la faune et pour les fondations.

Tableau 2 : Les différentes considérations du sol urbain selon les disciplines

	Système 2D Surface/support	Système 3D Volume/milieu	Système dynamique dans le temps
Fabrique urbaine	bâtiments, infrastructures	-	changements d'occupations
Hydrologie	-	infiltration de l'eau	évolution des potentialités
Génie Civil	bâtiments, infrastructures	fondations	-
Ecologie	faune, flore	habitat, milieu nutritif	évolution des propriétés
Agronomie	récoltes	racines, nutriments	évolution des propriétés
Pédologie	-	horizons	évolution des propriétés, des horizons

Evolution du concept d' « urbain »

En France, pour dissocier les communes urbaines et rurales, l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) avait jusqu'en 1996 deux nomenclatures spatiales à disposition : le découpage en unités urbaines et les zones de peuplement industriel ou urbain

(ZPIU). Avec l'apparition du phénomène d'ordre centrifuge dit de « périurbanisation », les ZPIU représentaient au recensement de 1996, 96% de la population française et 75% du territoire métropolitain (INSEE, 2011). En d'autres termes, les trois quarts du territoire métropolitain étaient urbains, la population française rurale ne représentant alors que 4% de la population totale (INSEE, 2011). Ce concept trouvait alors sa limite. Plus suffisamment discriminant, il fut utilisé pour la dernière fois en 1996. L'INSEE définit alors en février 1999 une nouvelle nomenclature spatiale basée sur les données du recensement de 1990 : le zonage en aires urbaines (ZAU) (INSEE, 2011). L'**aire urbaine** constitue un ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave, formé par un pôle urbain (unité urbaine offrant plus de 5 000 emplois) de plus de 10 000 emplois et par sa couronne périurbaine, c'est-à-dire les communes dont 40% de la population active résidente travaillent dans une autre commune de l'aire urbaine (INSEE, 2011). Ce nouveau découpage spatial, encore en vigueur aujourd'hui, se fonde sur la démographie du territoire et permet d'apprécier l'influence des villes au-delà de leurs limites physiques, dans le but de modéliser plus facilement le phénomène d'extension urbaine (INSEE, 2011). *In fine*, sont définis par ce nouveau zonage en ZAU l'espace à dominante rurale et l'espace à dominante urbaine (Figure 5), lui-même découpé en trois types d'espaces : le pôle urbain, l'unité urbaine et l'aire urbaine (Figure 6).

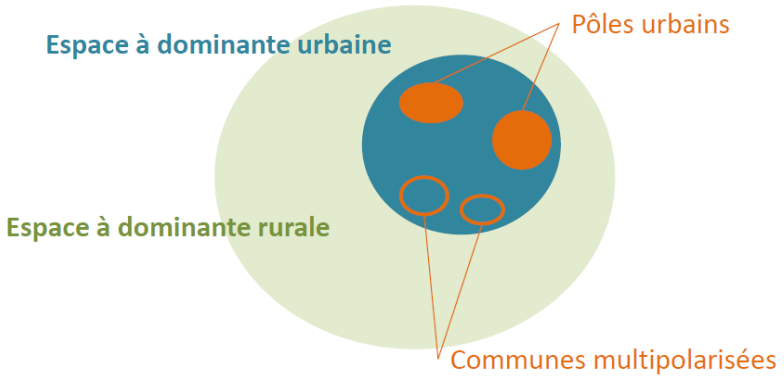


Figure 5 : Espaces à dominantes urbaine et rurale selon le zonage en aires urbaines de 2010, *INSEE, 2011*

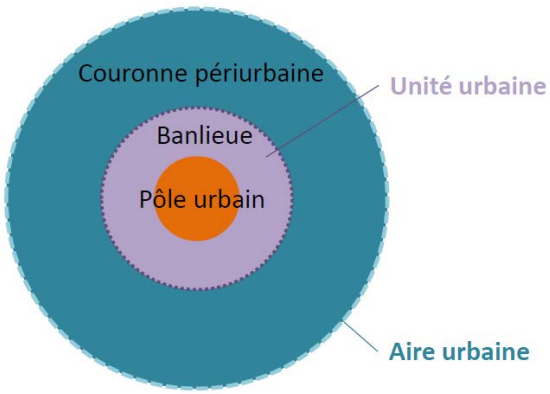


Figure 6 : Les trois espaces à dominante urbaine selon le ZAU de l'INSEE, *INSEE, 2011*

Sols urbains, sols anthropisés : éléments de définition

Les acteurs de la fabrique urbaine adoptent une démarche orientée vers la spatialisation pour décrire les sols des milieux urbains, considérant que tout sol situé dans une aire urbaine fait référence à un sol urbain. Au contraire, les pédologues s'attachent à caractériser un sol urbain par son origine et sa genèse, et notamment selon la quantification de l'impact anthropique. A ce titre, dans la classification internationale (WRB), deux catégories de sols font référence à des sols modifiés par les sociétés humaines : les Technosols et les Anthrosols. Les premiers sont des sols contenant plus de 20% d'artefacts (c'est-à-dire, matériaux créés, substantiellement modifiés ou amenés à la surface par des activités humaines) dans les 100 premiers centimètres ou présentant une couche imperméable continue en surface ou en profondeur comme des Technosols. Les Anthrosols sont décrits dans cette classification comme des sols formés ou modifiés par les activités humaines (*e.g.* addition de matières organiques ou de déchets ménagers, irrigation, culture). Dans la classification française (RPF), les sols modifiés par les sociétés humaines sont définis par le groupe de référence des Anthroposols (Rossignol *et al.*, 2008). En première intention, les pédologues ne définissent donc pas les sols en fonction de leur position géographique au sein des territoires. Néanmoins, l'historique d'usage des sols en milieux urbains indique qu'une part non négligeable de la couverture pédologique de ces espaces pourrait être constituée de Technosol ou d'Anthroposols. Ceci explique que le groupe de travail de l'IUSS (Union Internationale de Sciences du Sol) intitulé SUITMA (Soil in Urban, Industrial, Traffic and Mining and Military Areas) soit celui qui ait contribué à l'émergence puis à la diffusion de la définition de Technosol.

Au regard de ces différents termes et définitions propres à chaque discipline, il est proposé dans ce manuscrit de considérer distinctement une définition génétique (sols anthropisés) et géographique (sols urbains) des sols :

- les **sols anthropisés** ont des propriétés et une pédogénèse dominées par leur modification anthropique. Ils se caractérisent par de fortes quantités d'artéfacts, par un scellement anthropique (surface ou profondeur) ou par un riche apport en matières organiques (IUSS, 2014). Ils sont classifiés comme Anthroposols dans le RPF, et comme **Technosols** et **Anthrosols** dans la WRB. Ce sont ces derniers termes qui seront utilisés de manière préférentielle dans ce présent manuscrit ;
- les **sols urbains**, dans une définition plus géographique, sont les sols des aires urbaines. Caractérisés par des modifications anthropiques majeures, ils peuvent également faire référence à des sols dont l'historique d'usage est moins impacté par les activités humaines (*e.g.* usages agricoles, forestiers, prairiaux, d'espaces verts). De plus, les sols urbains se caractérisent par une forte proportion de couvertures de sol scellées, mais également par une gamme particulièrement large de couvertures variées

(*e.g.* semi-scellé, nu, potager, arbre, pelouse). La **couverture du sol** est décrite dans ce manuscrit comme la couverture physique (et biologique) de la surface des terres émergées (FAO, 1998). Cette définition évoque la couche superficielle qui recouvre le sol à un instant donné.

I.2. La considération grandissante des enjeux environnementaux dans la fabrique urbaine

L'analyse de l'évolution de la considération de l'environnement dans les stratégies de la fabrique urbaine traduit un intérêt grandissant pour le développement de la nature urbaine, motivé par les bienfaits rendus aux populations humaines (*e.g.* esthétique, paysage, production alimentaire, qualité de l'aire, lutte contre l'îlot de chaleur urbain) (Figure 7).

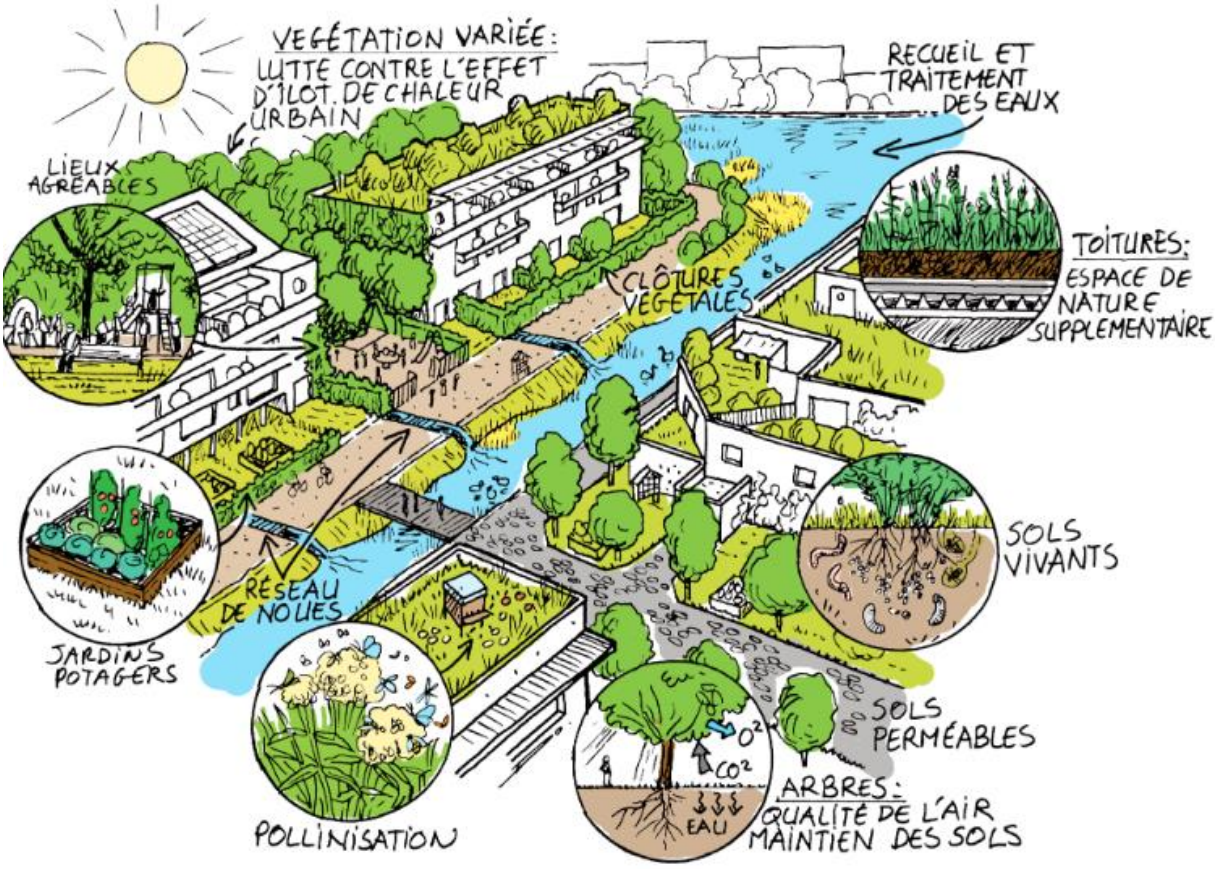


Figure 7 : Bienfaits offerts par la nature en milieu urbain, *Blanc et Clergeau, 2013*

I.2.1. L'évolution de la place attribuée à la nature en milieu urbain

A la fin du XIXème siècle, la révolution industrielle a nourri la réflexion sur le rôle de la nature en ville (Da Cunha, 2009), motivée par les progrès techniques et le désir d'une qualité de vie meilleure (Agulhon *et al.*, 1998). A partir de là, les réflexions sur la présence et les intérêts

d'une nature urbaine n'ont cessé d'évoluer dans le temps et en sont même venues à motiver le développement de nouvelles stratégies d'aménagement (Choay, 1965). A ce titre, trois grandes périodes de la fabrique urbaine peuvent alors se distinguer : une première phase fonctionnaliste, une seconde durable et plus récemment une transition écologique (Figure 8).

Au XIX^{ème} siècle, la nature en ville est fortement liée à l'embellissement urbain

Au milieu du XIX^{ème} siècle, F.L. Olmsted transposa le concept de « community road » à l'aménagement urbain, en associant des routes à travers des réseaux interconnectés de parcs linéaires et de réseaux verts. Il permet en 1877 la création du système de pars de Boston, appelé parkways (route paysagère), repris aujourd'hui par certains paysagistes à l'instar de M. Desvigne. Cette idée précurseuse fut reprise par JCN. Forestier à la fin du XIX^{ème} siècle, affirmant la nécessité de développer des systèmes de pars en milieu urbain, dans l'optique de créer de larges réserves et paysages protégés. Ces idées ont alors inspiré E. Howard qui développa à la même période une nouvelle approche de l'aménagement du territoire, fondée sur l'association des privilèges de la ville et des aménités de la campagne agricole. Ainsi, il créa les « cités-jardins » (Howard, 1898), évoquant la proximité « entre l'habitat et les lieux de travail, mais surtout le retour nostalgique à une coexistence symbiotique de la ville et de la campagne » (Da Cunha, 2009). Ce modèle a grandement influencé la notion « d'éco-quartier », labellisée dans le cadre du Grenelle de l'environnement (Boutefeu *et al*., 2008).

L'analyse de l'ensemble de ces nouvelles approches de l'aménagement urbain permet de comprendre que ces précurseurs développaient des plans d'aménagement où le paysage des espaces verts entourant les villes structurait ces dernières. La ville n'était plus opposée à la campagne (Mehdi *et al.*, 2012).

Au XX^{ème} siècle, la nature en ville est fortement liée au fonctionnement urbain

Au début du XX^{ème} siècle, E. Hénard proposa de lutter contre la minéralisation massive des espaces urbains (Agulhon *et al.*, 1998) en introduisant un système de parcs et jardins dans la ville, rapprochant habitants et espaces verts. Il réalisa en 1903 un projet de système de parcs et jardins à Paris, dont il prévoyait d'équiper les quartiers dépourvus d'espaces végétalisés (Mehdi *et al.*, 2012). Peu après, Le Corbusier proposa la conception de la ville tel un parc, dont les très hauts immeubles induisaient la possibilité d'aménager des espaces verts, pour faire pénétrer la nature dans la ville.

A cette époque, ces urbanistes considéraient les espaces plantés comme des îlots de verdure monofonctionnels (Mehdi *et al.*, 2012), permettant d'embellir les constructions (Figure 8). A cette époque, les connaissances scientifiques ne permettaient pas une considération de leurs processus écologiques : « les espaces verts publics urbains ont été considérés comme un équipement urbain au même titre que les autres... L'échec de ce type d'espace vert, purement

et étroitement fonctionnel, est si évident que les utilisateurs les abandonnent » (Merlin et Choay, 2009).

La fin du XXème siècle est marquée par l'organisation de nombreux sommets de la Terre, qui permettent aux acteurs de la fabrique urbaine de commencer à se saisir des potentialités d'une nature en ville. De plus en plus, une nature non artificialisée, prend place dans la ville, et les politiques de gestion des espaces verts s'orientent vers une gestion différenciée, cherchant à reproduire au maximum les bienfaits d'une nature « naturelle » (Figure 8).

Au XXIème siècle, la nature en ville est fortement liée à l'écologie du paysage

Le XXIème siècle est marqué, en France, par la parution du Grenelle de l'Environnement. La lecture de ces textes juridiques permet de comprendre l'importance du développement d'une nature en ville dans les stratégies de la fabrique urbaine, motivée principalement par la protection de la biodiversité. Le Grenelle a induit le développement de ce qui est aujourd'hui devenu un outil de planification : les trames vertes et bleues (TVB). Dans l'aménagement du territoire, les TVB sont un processus de planification qui permet de redonner la capacité de dispersion aux espèces, rendu compliquée par la fragmentation des habitats causée par l'urbanisation. Ces dernières années, le rôle écologique des espaces verts commence à être pris en compte dans la planification urbaine au même titre que les fonctions sociales et urbanistiques. La notion de fabrique urbaine « écologique » est même largement empruntée par les professionnels de cette discipline (Arrif *et al.*, 2011 ; Blanc, 2009 ; Clergeau, 2007) (Figure 8).

La mobilisation de ce concept par les collectivités territoriales semble également reposer sur la qualité du cadre de vie. Cet outil de planification permet de conserver en milieu urbain des espaces végétalisés participant à la création de paysages de qualité.

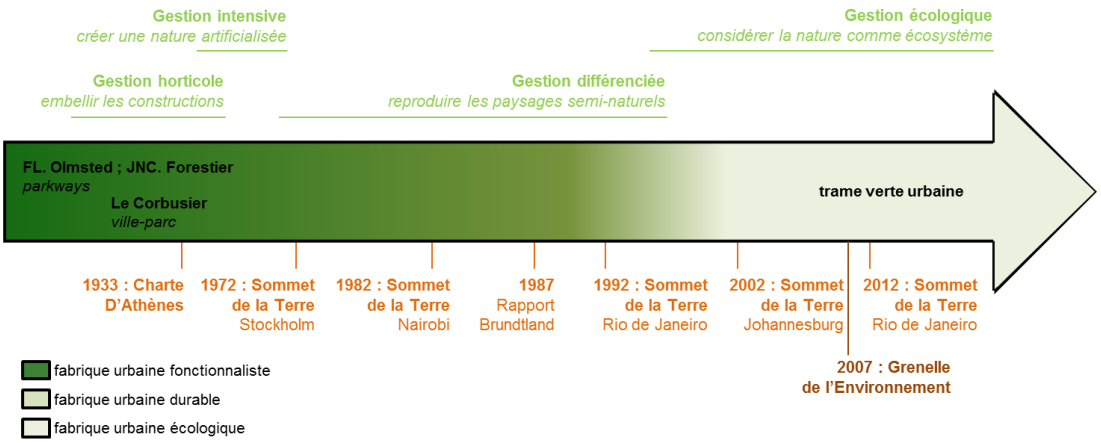


Figure 8 : Schéma représentatif de l'évolution de la prise en compte des espaces végétalisés dans la fabrique urbaine, *d'après Mehdi* et al., *2012*

I.2.2. La prise de conscience des défis environnementaux dans l'aménagement du territoire

De manière connexe au désir grandissant de faire entrer la nature, et plus largement l'environnement, dans les villes, les documents de planification ont vu leurs objectifs évoluer pour garantir les fonctions urbaines (*e.g.* habitat, déplacements) et la prise en compte de l'environnement (Merlin et Choay, 2009) (Figure 9). A ce jour d'ailleurs, la prise en compte de l'environnement dans la conception du cadre urbain est une obligation légale en France : l'article L121-1 du Code de l'Urbanisme assigne aux documents d'urbanisme un rôle de préservation des espaces naturels (Chalot, 2015).

Initialement, la considération de l'environnement ne faisait pas partie des enjeux traités par les acteurs de l'aménagement du territoire, ceux-ci s'intéressant plutôt à une recherche de salubrité, notamment en période de reconstruction d'après-guerre. Ce n'est qu'à partir de 1976 que le droit de l'environnement se mêle à celui de l'urbanisme. La loi du 10 juillet de cette année-là (N°76-629) (Légifrance, n.d.) relative à la protection de la nature avance que « les travaux et projets d'aménagement qui sont entrepris par une collectivité publique ou qui nécessitent une autorisation ou une décision d'approbation ainsi que les documents d'urbanisme doivent respecter les préoccupations d'environnement ». Cette même loi impose aux POS la réalisation d'un état initial de l'environnement et une analyse des éventuelles incidences du plan sur l'environnement (Jégouzo, 2009). Dans la continuité, la planification territoriale devient de plus en plus stricte sur la considération des enjeux environnementaux, notamment suite aux évènements internationaux qui mettent en exergue le principe de « développement durable ». La loi du 7 janvier 1983 définit la répartition des compétences entre les communes, les départements et les régions de l'Etat et introduit dans les documents de planification, par le biais de l'article L121-10 du code de l'urbanisme (actuel L121-1) (Légifrance, n.d.), le principe de gestion économe du sol et d'équilibre entre le développement urbain et la préservation de l'environnement. La loi de solidarité et renouvellement urbain (SRU) adoptée en 2000 marque un tournant dans l'histoire de la planification territoriale, réclamant que les documents d'urbanisme doivent être plus transparents sur la manière dont ils considèrent les enjeux de préservation de l'environnement (Prévost, 2013). Cette loi reprend le concept d'évaluation des incidences sur l'environnement de la loi de 1976. Le Code de l'Urbanisme (article R123-2) (Légifrance, n.d.) énonce ainsi que les rapports de présentation des SCoT et des PLU doivent présenter une analyse de l'état initial de l'environnement, évaluer les incidences prévisibles des orientations du document sur l'environnement, justifier les choix du projet d'aménagement et de développement durable (PADD) et exposer la manière dont ce document considère l'environnement. L'intérêt accordé aux enjeux environnementaux

se renforce avec les Grenelle 1 (2009) 2 (2010), issues de la loi portant sur l'engagement national pour l'environnement (ENE) (Légifrance, n.d.). Ils prévoient de renforcer la considération de l'environnement dans plusieurs domaines : agriculture, bâtiment (favoriser un urbanisme économe en ressources foncières et énergétiques), industrie, transport (faire évoluer les infrastructures de transports et les comportements) et énergie (renforcer les mesures d'économies d'énergie et développer les énergies renouvelables) (Légifrance, n.d.). Le Grenelle de l'Environnement renforce tellement la considération de l'environnement dans la planification territoriale que plusieurs documents d'urbanisme, portant sur des enjeux environnementaux, découlent de ces lois. Ainsi, le SRCAE décline aux échelles régionales une partie du contenu de la législation européenne sur le climat et l'énergie ; le SRCE est un schéma d'aménagement du territoire et de protection des ressources naturelles, visant le bon état écologique de l'eau, imposé par la directive cadre sur l'eau. Dernièrement, la loi pour l'accès au logement et à un urbanisme rénové (Alur), adoptée en 2014 (Légifrance, n.d.), renforce la prise en compte de la dimension environnementale dans les stratégies d'aménagement du territoire. L'objectif fondamental de la loi est d'ailleurs de lutter contre l'artificialisation des sols en conciliant la protection des terres agricoles avec le besoin actuel de construction de logements (Légifrance, n.d.). Dans cette optique, la loi Alur modernise les outils de planification en transférant par exemple la compétence PLU aux intercommunalités (PLU intercommunal ou PLUi). De plus, les SCoT sont, depuis cette loi, considérés comme le document d'urbanisme pouvant répondre à cette question de densification des territoires et protection des sols agricoles. A ce titre, les PLU doivent désormais les prendre en compte sous un délai d'un an. Toujours en faveur d'une protection de l'environnement, la loi Alur impose la création d'un coefficient de biotope. Son but est de maintenir un certain ratio entre la surface pouvant servir de biotope et la surface construite, afin de participer à limiter la disparition de biodiversité induite par la densification des logements pavillonnaires. La loi Alur renforce également le droit sur les sites et sols pollués en faveur d'une reconversion plus fréquente des friches industrielles et urbaines. Enfin, la loi Alur supprime le coefficient d'occupation des sols (COS) compris dans les règlements des PLU, la surface de plancher maximale autorisée sur le périmètre d'un lotissement ne pouvant désormais être fixée qu'au regard de la combinaison des règles de densité fixées par le règlement du PLU (Légifrance, n.d.).

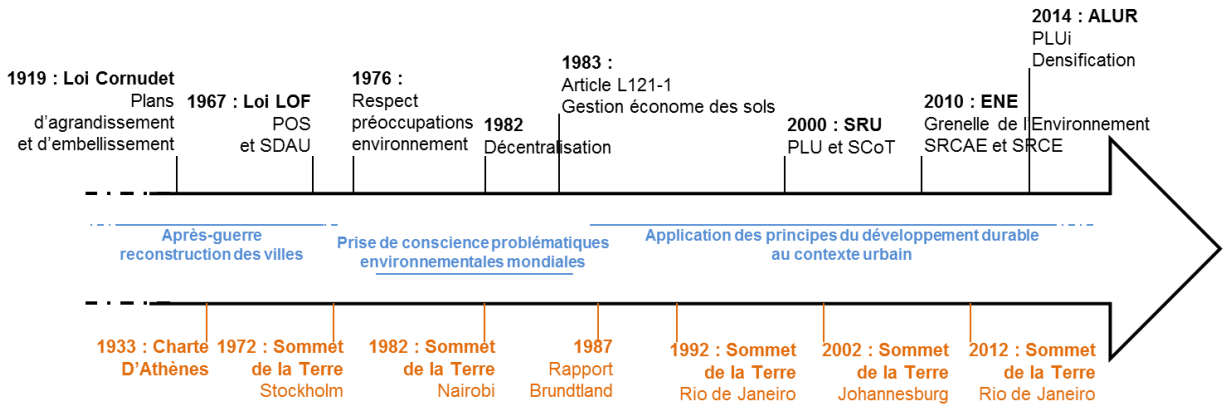


Figure 9 : Evolution de la prise en compte des enjeux environnementaux dans la planification territoriale en France

I.2.3. La prise de conscience des défis environnementaux à l'échelle du projet urbain

Aujourd'hui, les enjeux de durabilité sont une priorité dans le développement d'un projet urbain (Souami, 2009). Ils se traduisent par une mixité urbaine et sociale, un projet appréhendé en coût global, le développement d'une gouvernance et démocratie participative. Cette durabilité se traduit également par une recherche de la dimension environnementale. A ce titre, l'économie des sols (faible emprise spatiale) est un argument clef dans les réflexions actuelles des acteurs de l'aménagement. La densification des espaces urbains et la reconstruction de la ville sur la ville apparaissent être des réponses au réchauffement climatique et à l'étalement urbain (Souami, 2009). La dimension environnementale trouve également réponse à travers la préservation de la biodiversité, le développement de continuités écologiques (Blanc, 2009). Cette recherche environnementale se traduit également par une place des espaces verts de plus en plus prépondérante dans les milieux urbains (Blanc, 2009) : développement de parcs urbains, jardins partagés et familiaux, toitures végétalisées. Enfin, le développement d'un « projet urbain à dimension environnementale » induit également des réflexions de la part des acteurs de l'urbanisme pour tendre vers un chantier de moindre impact environnemental et vers une économie de projet.

Ce souhait est relayé par les élus et la référence à des critères de qualité environnementale s'est systématisée dans les appels d'offres édités par les collectivités territoriales lors du développement d'un projet urbain (Souami, 2009).

Toutes ces nouvelles exigences dans la manière de faire le projet urbain trouvent réponses dans le développement de projets urbains particuliers, que sont les éco-quartiers (Verhage et Leroy, 2014). Le concept d'éco-quartier résulte de l'impératif d'intégrer les objectifs du développement durable, afin de limiter au plus l'impact du bâti. Ce néologisme, qui est à l'origine du label EcoQuartier promu par le Ministère de l'Ecologie, du Développement

Durable et de l'Energie (MEDDE), insiste sur la considération des enjeux environnementaux (*e.g.* réduction des consommations d'énergie, gestion des déplacements, gestion et consommation de l'eau, protection de la biodiversité, utilisation de matériaux de construction durables) en leur attribuant des niveaux d'exigences ambitieux. Créé en 2008 pour récompenser les projets les plus respectueux des critères de durabilité, le label EcoQuartier a été attribué à 39 projets urbains, et 98 autres projets sont en train d'être expertisés. Parmi les plus connus en France, peuvent être cités l'EcoQuartier de la Caserne de Bonne, à Grenoble ou encore la ZAC du Danube à Strasbourg. En Europe, les plus connus sont situés au Nord : Vauban, à Fribourg, Malmö en Suède, ou encore Hanovre en Allemagne.

I.2.4. Les réponses aux enjeux environnementaux dans la fabrique urbaine nécessitent le recours à l'interdisciplinarité

Puisque la ville est le lieu de concentration d'activités différentes, son développement nécessite alors une mise en commun de compétences provenant de multiples disciplines (Verhage, 2002). En réponse à la complexification des problèmes urbains, à l'incertitude, mais aussi à l'innovation (Verhage et Leroy, 2014), l'urbanisme durable nécessite alors la mise en commun de deux différents groupes d'acteurs :

- les acteurs traditionnellement impliqués dans l'urbanisme, tels que les aménageurs, les promoteurs ou encore les urbanistes, paysagistes et architectes ;
- les acteurs non impliqués traditionnellement dans l'aménagement du territoire, mais qui sont des spécialistes de questions de développement durable, tels que des bureaux d'étude ou encore des assistances à maîtrise d'ouvrage (Souami, 2009).

La considération des enjeux environnementaux a conduit à une évolution des stratégies développées dans la planification du territoire et l'urbanisme de projet. Ces évolutions ont des conséquences sur les stratégies de gestions des sols (Béchet *et al.*, 2017). A ce titre, la revue de la littérature permet de renseigner sur la manière dont les sols, qu'ils soient agricoles, forestiers ou urbains, sont considérés dans la fabrique urbaine pour répondre aux enjeux environnementaux urbains.

I.3. La nécessaire préservation des sols naturels et l'abondance des sols urbains

Ces dernières années, les groupements interdisciplinaires en charge du développement urbain des territoires réfléchissent en particulier à un problème majeur : lutter contre l'artificialisation

des sols (Béchet *et al.*, 2017). L'enjeu est en effet la construction de villes denses et compactes, afin de limiter au plus l'urbanisation des sols agricoles et forestiers, véritables ressources pour les sociétés humaines.

I.3.1. L'artificialisation des sols français

Depuis plusieurs années, la France fait face à une logique centrifuge d'expression de la ville : l'artificialisation. Cette notion est récente et correspond, initialement, à la nécessaire préoccupation de quantifier les pertes de surfaces disponibles pour l'usage agricole en surfaces urbanisées (Béchet *et al.*, 2017). L'urbanisation du territoire est à ce titre l'un des principaux moteurs de l'artificialisation des sols.

Les modes de vie des français évoluent

Depuis les années 1950, les modes de vie des français ont évolué, traduisant une préférence pour les milieux urbains puis, progressivement, pour le modèle pavillonnaire en périphérie des grandes métropoles. Divers intérêts socio-économiques ainsi que des contraintes spatiales et environnementales les encouragent à quitter les centres-villes et à s'installer en périphérie, à une distance assez proche du centre-ville pour pouvoir bénéficier de ses infrastructures et services, mais assez éloignée afin de jouir d'une qualité de vie au plus proche de la nature (Laugier, 2013). De cette manière, l'évolution des modes de vie profite au développement de l'étalement urbain : les sols en périphérie des unités urbaines s'urbanisent, au fur et à mesure que les citadins quittent les centres-villes.

L'expression centrifuge des villes françaises

L'étalement urbain s'explique par deux facteurs : une diminution de la densité d'habitants au km^2 en centre-ville et une augmentation de la superficie des sols urbanisés.

La densité moyenne d'habitants augmente sur le territoire métropolitain (113,6 habitants.km^{-2} en 2007 contre 107,6 en 1999) (INSEE, 2011). Cette densité moyenne est globalement stable dans les territoires à dominance rurale, avoisinant les 33 habitants.km^{-2} depuis 1936. Cependant, depuis la fin des années 1960, elle a tendance à diminuer dans les territoires urbains. En 1962, il y avait 600 habitants.km^{-2} en milieu urbain, contre 400 en 2007 (INSEE, 2011).

Concernant l'évolution des superficies des sols agricoles, forestiers et urbains, les chiffres de l'expertise scientifique collective (Béchet *et al.*, 2017) avancent l'importante perte des sols agricoles vers des espaces boisés et naturels (respectivement - 287 000 ha et - 530 000 ha) (Figure 10). Ce taux moyen de perte en sols agricoles dépasse celui de la perte des terres agricoles par l'artificialisation (- 524 000 ha). Si ces chiffres tendent à souligner que l'artificialisation des sols n'est pas le principal moteur de la perte en sols agricoles,

ils renseignent tout de même sur le fait que ces mouvements sont plus facilement compensés par des flux inverses en provenance de sols forestiers et naturels (respectivement, + 273 000 ha et + 317 000 ha) que depuis des sols artificialisés (+ 190 000 ha). En effet, la réversibilité des usages étant nettement plus aisée entre sols agricoles et sols boisés ou naturels qu'entre sols agricoles et sols artificialisés. De plus, ces chiffres indiquent que le mouvement d'artificialisation s'effectue un peu plus à partir des sols agricoles (524 000 ha) que de la somme des surfaces boisées (227 000 ha) et naturelles (213 000 ha). Ces résultats renseignent sur le fait que l'artificialisation des sols, poussée par le phénomène d'urbanisation, est rapide (l'équivalent d'un département français de terres agricoles est artificialisé tous les sept ans) et s'est faite aux dépens de sols agricoles (Laugier, 2013). Ce processus d'artificialisation des sols agricoles pose alors de nombreux enjeux environnementaux (*e.g.* régulation du climat, production alimentaire, infiltration des eaux pluviales) accentués par le fait qu'il est difficilement réversible (Béchet *et al.*, 2017). Cependant, l'analyse de la littérature tend à souligner le fait que l'artificialisation des sols est inégalement répartie sur le territoire français (Béchet *et al.*, 2017) (Figure 11).

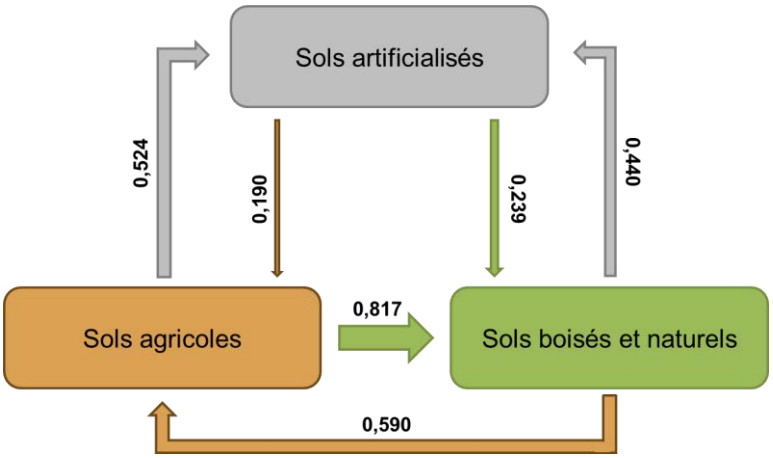


Figure 10 : Changement d'occupation des sols à l'échelle nationale, entre 2006 et 2014, chiffres en M²ha, *d'après Béchet* et al.*, 2017*

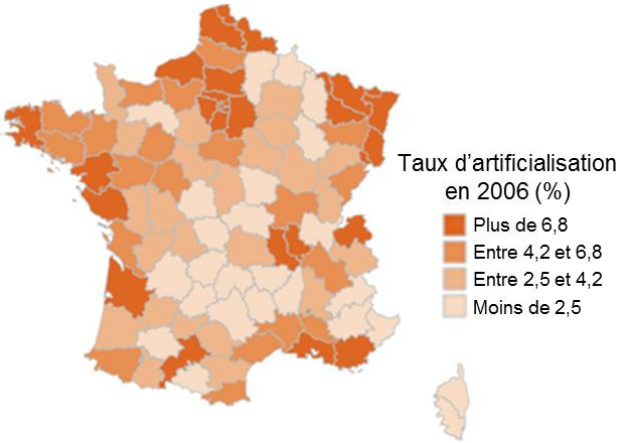


Figure 11 : Taux d'artificialisation par département en 2006, *INSEE, 2010*

Prenant conscience des enjeux de préservation des sols agricoles et des nuisances environnementales causées par l'étalement urbain, les politiques publiques ont mis en œuvre plusieurs leviers d'actions, telles que l'augmentation de la densification urbaine ou encore la réhabilitation des friches industrielles et espaces vacants des milieux urbains.

I.3.2. La nécessaire protection des sols agricoles et forestiers

L'analyse de la littérature permet aisément de comprendre que les sols agricoles et forestiers sont des sols fonctionnels. Les premiers permettent aux sociétés humaines de se nourrir (apport de biomasse alimentaire) et de se vêtir (apport de matières premières telles que les fibres pour les vêtements) quand les derniers leur permettent de se loger, travailler et se déplacer (apport de matériaux de construction) (ADEME, 2015). Compte tenu de l'importance accordée à ces sols naturels, les politiques publiques se sont développées en France, depuis le début du XIX^{ème} siècle, dans le but de limiter l'expansion urbaine et de protéger ces ressources fragiles (Code de l'Environnement) (Légifrance, n.d.).

<u>La limitation de l'étalement urbain, ou la densification des espaces déjà urbanisés</u>

Face au constat des phénomènes d'expansion spatiale des aires urbaines et de leurs conséquences pour l'environnement, certains acteurs de l'aménagement du territoire préconisent la densification des milieux artificialisés déjà existants. La densification du tissu urbain existant apparait aujourd'hui comme une façon de protéger les espaces naturels et agricoles de l'anthropisation, mais également d'optimiser les transports publics et les réseaux divers (*e.g.* gaz, électricité, assainissement) et de répondre aux contraintes énergétiques de la ville durable (Martin, 2013). Depuis le 24 mars 2014, la loi Alur s'appuie sur le SCoT et le PLU pour atteindre l'objectif d'une densification optimale pour les milieux artificialisés (Légifrance, n.d.). Le SCoT devra identifier les espaces ayant un potentiel de densification et de mutation, tandis que les PLU devront analyser la capacité de densification et de mutation des espaces bâtis, en tenant compte des formes urbaines et architecturales.

La densification des espaces urbains peut être contrôlée de différentes façons :

- un travail sur les formes architecturales des bâtiments construits : en jouant sur les modulations morphologiques de la densité, le travail sur les formes architecturales peut permettre de construire sur une plus faible emprise au sol une même densité de logements (Figure 12) ;
- une densification des dents creuses : rehausser le bâtiment considéré en rajoutant des étages, ou construire un bâtiment si le sol était à la base dépourvu de toutes activités d'habitation ou de commerce (Figure 13). A ce titre, la démarche Build In My Back Yard (BIMBY) propose une voie alternative de construction de nouveaux logements.

Sélectionnée en 2009 par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre de son appel à projets « Villes Durables », cette démarche a été développée par deux architectes-urbanistes (B. Le Foll et D. Miet) dans le but d'offrir la possibilité à un habitant de céder une partie de son terrain pour créer de nouveaux logements, telle une maison de plain-pied (BIMBY, n.d.).

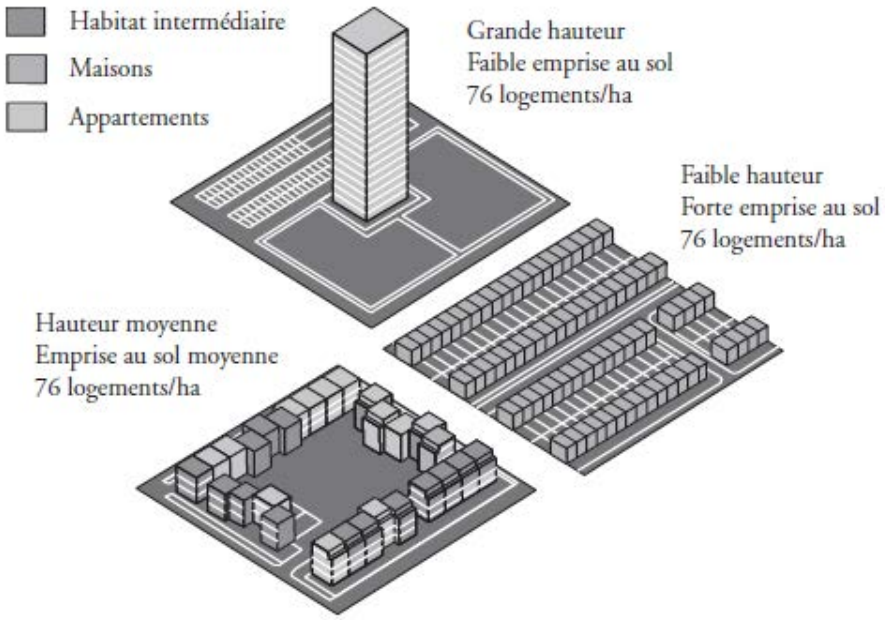


Figure 12 : Modulation morphologique de la densité,
Institut d'aménagement et d'urbanisme de l'Ile-de-France, 2005

Figure 13 : Densification en dents creuses, *Urbanews, 2011*

Si ces mesures sont des réponses à l'étalement urbain à l'échelle des villes et des projets, les pouvoirs publics ont également élaboré des mesures réglementaires favorables à la densification (Castel, 2010) :

1. la loi n° 2009-323 du 25 mars 2009, de mobilisation pour le logement et la lutte contre les exclusions (loi MOLLE ou loi Boutin) (Légifrance, n.d.), dans son article 40, permet d'augmenter la densité urbaine, en autorisant de dépasser les règles de gabarit, hauteur et emprise au sol ;
2. la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant sur un engagement national pour l'environnement (loi Grenelle 2) (Légifrance, n.d.), introduit un article L 122-1-5 VIII dans le code de l'urbanisme, qui ouvre la possibilité au SCoT de fixer des seuils minimums de densité maximale de construction dans certains secteurs ;
3. le Grenelle 2 encourage la densification en autorisant un dépassement (30%) des règles relatives au gabarit et à la densité d'occupation des sols résultant du PLU ;
4. le Grenelle 2 toujours, avance que l'échelon communal est parfois trop étroit et pas adapté pour faire face à la limitation de l'étalement urbain qui nécessite une vision et une prise en charge à un niveau supra- ou intercommunal. La généralisation des PLU intercommunaux pourrait donc offrir un cadre adéquat, même si la loi Grenelle 2 en a introduit l'existence, mais ne les a pas rendus obligatoires ;
5. la loi Alur (2014) (Légifrance, n.d.) modifie l'article L.123-1-5 du code de l'urbanisme et supprime le COS ainsi que la possibilité de fixer une superficie minimale des terrains constructibles dans le règlement du PLU.

La reconquête des espaces délaissés

Toujours en réponse au phénomène d'étalement urbain, les pouvoirs publics ont mis en œuvre des processus de reconquête et de mise en valeur des friches industrielles. La révolution industrielle de 1970 (Rifkin, 2012) a laissé aujourd'hui de nombreux espaces vacants en milieux urbains (Edelblutte, 2009). Ces friches, bien que potentiellement polluées, sont vues aujourd'hui par les pouvoirs publics comme de réelles opportunités foncières et des points stratégiques de développement (Anderson et Minor, 2017; Schröder *et al.*, 2017). En 2016, environ 100 000 hectares de friches ont été répertoriés en France (ADEME, 2014)

La révision du zonage des PLU

Une autre mesure mise en place par les pouvoirs publics pour lutter contre l'expansion urbaine est la révision obligatoire pour pouvoir être ouvertes à l'urbanisation des zones dites « à urbaniser » des PLU, lorsque celles-ci ont plus de neuf ans, afin d'éviter le surdimensionnement des zones susceptibles d'être ouvertes à l'urbanisation.

I.3.3. La partielle protection juridique des sols en Europe et en France

Dans les politiques publiques, le sol n'est donc pas protégé en tant que tel, mais est considéré comme facteur potentiel de dégradation de l'eau et plus généralement de l'environnement et de la santé humaine (Desrousseaux, 2015).

Il existe cependant des éléments et textes de lois qui protègent le sol de façon directe. En 1972 (Conseil de l'Europe), la charte européenne des sols avance que le sol est « un bien fini, précieux pour l'humanité et qui se détruit facilement », qu'il faut donc « protéger contre différentes menaces comme l'érosion, la contamination, l'urbanisation ». A cette époque, ce texte revêt un caractère novateur et invitait les Etats membres à mettre en place une politique de conservation des sols (MEDDLE et MAAF, 2015). Le 26 novembre 1981, la charte mondiale des sols est adoptée sous l'égide de la FAO : le sol est une ressource limitée qu'il est nécessaire de protéger et de gérer durablement (MEDDLE et MAAF, 2015). Ces textes font toutefois appel à ce qui se nomme communément la *soft law* : ce sont des textes d'intention, sans caractère d'obligation juridique. Cette protection du sol est donc à nuancer, notamment lorsqu'elle est comparée à la protection de l'eau, qui elle revêt un caractère obligatoire et bien intégré par l'ensemble des Etats (Desrousseaux, 2015). L'eau est une ressource qui coule, qui bouge et qui est directement consommée, à l'instar de l'air. A l'inverse, le caractère immobile du sol est souvent présent dans les esprits. Pour protéger les ressources en eau et éviter toute incidence sur la santé humaine, les pouvoirs publics d'Etats voisins réussissent à travailler ensemble, en créant par exemple des conventions de gestion des eaux. Mais bien souvent, la thématique transfrontière du sol n'est pas reconnue : les pouvoirs publics peinent à considérer qu'une dégradation du sol sur une parcelle donnée va avoir des répercussions sur la parcelle voisine voire sur le territoire de l'Etat voisin.

Néanmoins, depuis le début des années 2000 en Europe, quelques politiques de protection des sols se développent. La Pologne, la Slovaquie, ou encore l'Allemagne ont développé des politiques visant à limiter, voire réduire, la consommation des sols et leur artificialisation. L'Allemagne dispose d'un texte depuis les années 1990 d'ordonnance de protection des sols. De plus, certains pays ont mis en place des instruments pour protéger leurs sols : juridiques (Autriche), économiques (Belgique, Lettonie), incitatifs (Finlande, Pays-Bas). Enfin, quelques pays disposent d'une stratégie nationale sur les sols (Angleterre, Ecosse, Suisse). En effet, la Suisse a inscrit dans sa Constitution l'utilisation rationnelle et judicieuse de son territoire. Une autre avancée considérable aurait pu être attendue de la part de la stratégie de protection des sols. En 2002, une communication de la Commission européenne intitulée « Vers une stratégie thématique pour la protection des sols » (Commission des Communautés Européennes, 2006) permet la reconnaissance politique des sols. Elle a été le point de départ

d'une large consultation des parties intéressées, aboutissant le 22 septembre 2006 à la publication d'une communication de la Commission intitulée « Stratégie thématique en faveur de la protection des sols », ainsi qu'à une proposition de Directive cadre sur les sols (Commission des Communautés Européennes, 2006) le 30 décembre 2006. Les États membres auraient été tenus de recenser, sur la base de critères définis dans la proposition, les zones dans lesquelles il existait des enjeux relatifs aux sols (*e.g.* érosion, diminution des teneurs en matière organique, dégradation). Ils devaient ensuite fixer des objectifs et adopter des programmes de mesures appropriés afin de réduire les risques recensés. Ils devaient également prévoir des mesures permettant de limiter l'imperméabilisation des sols. Enfin, ils devaient dresser dans un délai de 5 ans un inventaire des sites pollués, ainsi que des sites sur lesquels certaines activités se sont déroulées dans le passé (*e.g.* décharges, aéroports, ports, sites militaires). Mais, adopté en première lecture par le Parlement européen en novembre 2007, le projet de directive-cadre a été bloqué par le Conseil environnement du 20 décembre 2007, avec un vote négatif de quatre pays (Allemagne, Autriche, Grande-Bretagne, Pays- Bas) et une abstention de la France.

En France, par comparaison avec certains pays européens, il existe une faible prise en compte de la problématique « sol » dans les textes législatifs. Mais les pouvoirs publics prennent peu à peu conscience de l'intérêt à accorder au sol. A ce titre, la loi sur la biodiversité (loi n°2016-1087) (Légifrance, n.d.) reconnait depuis peu les sols comme patrimoine commun de la nation. De plus, de nombreux programmes de recherche financés par l'Etat se développent en France ces dernières années. Ces avancées sur la connaissance et la considération du sol pourraient alors trouver réponse dans le droit de l'environnement avec la création d'un statut juridique plus équilibré, prenant en compte à la fois les valeurs d'usage du sol, mais également ses interrelations avec l'environnement et ses caractéristiques agronomiques (Billet, 2018).

I.3.4. La considération relative des services offerts par les sols urbains

La revue de la littérature permet de comprendre que les sols urbains semblent majoritairement considérés par les acteurs de la fabrique urbaine comme une ressource abondante et facilement modifiable (Commission des Communautés Européennes, 2006). Compte tenu des enjeux économiques, sociaux et sanitaires majeurs, l'être humain est habitué à intervenir, parfois de manière intense, sur la couverture pédologique, en particulier à l'échelle du site à aménager, afin de rendre compatibles les propriétés du sol avec les usages attendus. Si un sol ne permet pas certains usages (*e.g.* construction de bâtiment, développement de la végétation), des pieux peuvent y être implantés, il peut être imperméabilisé, il peut également être chaulé ou amendé, voire remplacé par des matériaux terreux fertiles. Cependant, cette revue de la littérature n'apporte pas d'éléments quant à l'existence ou non d'une considération

fonctionnelle des sols urbains par les acteurs de la fabrique urbaine. En effet, si les bienfaits offerts par les sols agricoles et forestiers en vue d'une protection environnementale sont amplement traduits dans différents ouvrages et articles, les rôles que peuvent jouer les sols urbains pour cette problématique ne sont pas explicités, ni dans le cas de l'aménagement du territoire, ni dans celui de l'urbanisme opérationnel.

Des éléments de réponse à cette interrogation pourraient alors être trouvés dans la littérature scientifique propre aux disciplines de l'agronomie et la pédologie urbaine.

I.4. Les sols anthropisés, un système hétérogène aux propriétés bio-physico-chimiques singulières

Si l'aménagement du territoire a *de facto* toujours considéré les sols urbains comme objet d'étude, les recherches sur les sols urbains en pédologie sont plus récentes et très ciblées. En sciences du sol, l'étude des sols a été initialement fondée sur les sols agricoles et forestiers. Les sols urbains, perturbés par les sociétés humaines, ont été pendant très longtemps peu pris en compte, comme en témoignent les zones blanches et non cartographiées, observables sur les cartes de sols (Cheverry et Gascuel, 2009). Cependant, depuis le début du XXI^{ème} siècle, les sols des territoires sous influence anthropique ont fait l'objet d'investigations plus détaillées (De Kimpe et Morel, 2000 ; Blanchart *et al.*, 2017).

I.4.1. Les propriétés biologiques, physiques et chimiques des sols urbains

Les principales recherches menées sur les sols urbains permettent de décrire leurs caractéristiques biologiques, physiques et chimiques, en les comparant, souvent, à celles des sols agricoles et forestiers.

A ce titre, l'analyse de la littérature renseigne sur le fait que les sols urbains sont le lieu d'habitat d'une faune et d'une flore abondante et diverse (Joimel *et al*., 2017). L'abondance et la diversité, aussi bien floristique que faunistique des sols modifiés par les sociétés humaines étant fortement dépendente de la couverture et de l'usage de ces sols (Joimel *et al*., 2017) ; il apparait que ce sont les sols de jardins qui présentent la diversité biologique la plus forte, qui décroit des pelouses jusqu'aux sols imperméabilisés, en passant par les pieds d'arbres (Joimel, 2015).

Concernant les caractéristiques physiques des sols urbains, l'état de l'art informe qu'elles sont fortement dépendentes de leur structure, c'est-à-dire de la façon dont les constituants minéraux et organiques sont assemblés. A ce sujet, un certain nombre de recherches cibles les propriétés physiques des sols fortement anthropisés. Compte tenu

de la présence de zones de scellement (*e.g.* béton, matériaux compactés) en surface ou en profondeur (Baumgartl, 1998) dans les Technosols. La structure des sols anthropisés est ainsi fréquemment dégradée d'un point de vue pédologique (Baumgartl, 1998). Les structures massives ou au contraire particulaires dominent et, plus globalement, ces sols présentent un déficit fort d'agrégation (Baumgartl, 1998). Les horizons de surface des Technosols, ceux qui sont souvent le plus fortement influencés par les sociétés humaines, sont non seulement caractérisés par une gamme de couleurs plus étendue, mais également par des couleurs plus contrastées que les sols naturels.

Enfin, un certain nombre d'articles scientifiques traitent, des caractéristiques chimiques des Technosols. A ce sujet, et au regard de leur fertilité, ces sols fortement anthropisés se caractérisent par une très forte dispersion des valeurs observées. Si les valeurs moyennes de phosphore disponible et d'azote total des sols anthropisés sont peu différentes de celles des sols naturels, elles présentent des écarts-types plus élevés, témoignant des contrastes très forts entre eux (Joimel *et al.*, 2016). Ceci est également vrai pour le carbone organique, mais dans ce cas il est à noter que la valeur moyenne mesurée sur les sols anthropisés est supérieure à celle des sols naturels (Joimel *et al.*, 2016). Le recours massif au béton et autres liants hydrauliques constitue une explication supplémentaire au fait qu'une très large majorité des sols anthropisés présente des pH nettement alcalins (Morel *et al.*, 2005).

I.4.2. Les sols urbains, marqués par des contaminations résiduelles

Une autre partie importante des recherches menées sur les sols urbains traitent de la présence de contaminants dans ces sols. L'état de l'art renseigne sur le fait que les sols anthropisés sont une source importante de contaminants (Norrä et Stüben, 2003). L'incorporation de matériaux d'origine anthropique (par exemple, industrielle ou de déconstruction) ainsi que le support ou la proximité d'activités humaines polluantes, entraine une pollution fréquente des sols anthropiques (Béchet *et al.*, 2009), à la fois dans la fraction grossière et dans la fraction fine (El Khalil *et al.*, 2008). Par exemple, les résultats de Joimel *et al.* (2016) indiquent des concentrations moyennes en éléments traces métalliques supérieures dans les sols urbains par rapport aux autres sols. Cette présence de métaux dans les sols urbains présente un risque pour les individus, en raison de leur possible lixiviation dans les eaux souterraines, de leur entrée dans la chaine alimentaire par l'absorption de ces métaux par les plantes, de leur inhalation ou de leur ingestion directe (Thornton, 1990; Gallagher, 2008; Poggio *et al.*, 2009).

I.4.3. Les sols urbains, des sols récents

Du fait des activités humaines qui modifient leurs propriétés en profondeur, l'âge des sols urbains, en particulier de ceux fortement modifiés par les activités humaines, est souvent inférieur ou égal à la centaine d'années ce qui fait d'eux des sols très jeunes (Morel *et al.*, 2005) par comparaison aux sols naturels (plusieurs milliers d'années). En outre, lorsqu'ils ne sont pas scellés, les sols anthropisés se caractérisent fréquemment par une cinétique d'évolution rapide qui s'explique par un déséquilibre avec leur environnement (Séré *et al.*, 2010). Ceci implique que leurs propriétés bio-physico-chimiques sont susceptibles d'évoluer rapidement.

I.4.4. Une forte hétérogénéité dans la couverture pédologique urbaine

Tout comme les pratiques agricoles et les exploitations forestières, les activités humaines influencent plus ou moins intensivement les sols anthropisés (Morel et Schwartz, 1999 ; Béchet *et al.*, 2009), ce qui en font des systèmes présentant une forte hétérogénéité à la fois verticale et horizontale, dans leurs propriétés bio-physico-chimiques (Craul, 1992; Schwartz *et al.*, 2001b ; Morel *et al.*, 2005; Béchet *et al.*, 2009). Cette hétérogénéité s'explique par le fait que les sols urbains sont le support d'usages très variés : support de bâtiments, d'infrastructures, d'installations de loisirs ou encore de production de biomasse sur une zone restreinte : l'aire urbaine. Ces nombreux usages, fréquemment superposés dans le temps, se traduisent par des modifications plus ou moins profondes de l'état initial du sol (Baumgartl, 1998).

A cet égard, les articles et ouvrages scientifiques recensés au cours de cet état de l'art discutent de sujets relatifs à la pédologie urbaine (*e.g.* composition, génèse, évolution) en ciblant soit exclusivement un certain type de sols (*e.g.* sols de jardins, Technosols) ou en intégrant à la fois des sols fortements anthropisés et d'autres beaucoup moins marqués par les activités humaines. Cependant, il ne semble pas exister d'articles scientifiques qui parviennent à décrire de manière précise le taux de présence et la répartition spatiale des sols fortement anthropisés au sein des aires urbaines.

Les recherches renseignent sur le fait que les sols urbains sont un système complexe, difficile à appréhender globalement (Mantziaras et Vigano, 2016), qui présente une hétérogénéité tant verticale qu'horizontale. A ce titre, des recherches ont été développées permettant d'accroitre les connaissances sur ces sols, en évaluant notamment leurs fonctions et services écosystémiques.

I.5. Les sols urbains à l'origine de services écosystémiques utiles pour l'aménagement du territoire

Les sols urbains, de par les interactions entre leurs composants biotiques et abiotiques, ont la capacité de remplir des fonctions écosystémiques et d'assurer des services écosystémiques (Blanchart *et al.*, 2017).

I.5.1. Les services écosystémiques rendus par les sols urbains : l'émergence d'un sujet

L'analyse bibliométrique indique une croissance constante du nombre de publications scientifiques entre 1995 et 2016 concernant les services écosystémiques, y compris celles traitant des services écosystémiques rendus par les sols en milieu urbain (Figure 14) (Blanchart *et al.*, 2017). Cette tendance évolutive se retrouve également dans les résultats de l'analyse bibliométrique sur les publications scientifiques ayant trait aux services écosystémiques en milieux urbains. En effet, de 1995 à 2016 le nombre de publications sur cette thématique ne cesse d'augmenter (5 publications en 1995-1996 et 933 en 2015-2016). De plus, le taux d'accroissement, tout comme celui concernant les publications sur les services écosystémiques, diminue avec le temps (de 114% entre 2003 et 2006, il passe à 69% entre 2013 et 2016). Enfin, ces tendances sont les mêmes pour les publications scientifiques concernant les services écosystémiques rendus par les sols urbains. Les résultats indiquent en effet une augmentation du nombre de publications entre 1995 et 2016 (4 en 1995-1996 et 80 en 2015-2016) et un taux d'accroissement qui s'atténue avec le temps (125% entre 2003 et 2006 et 56% entre 2013 et 2016).

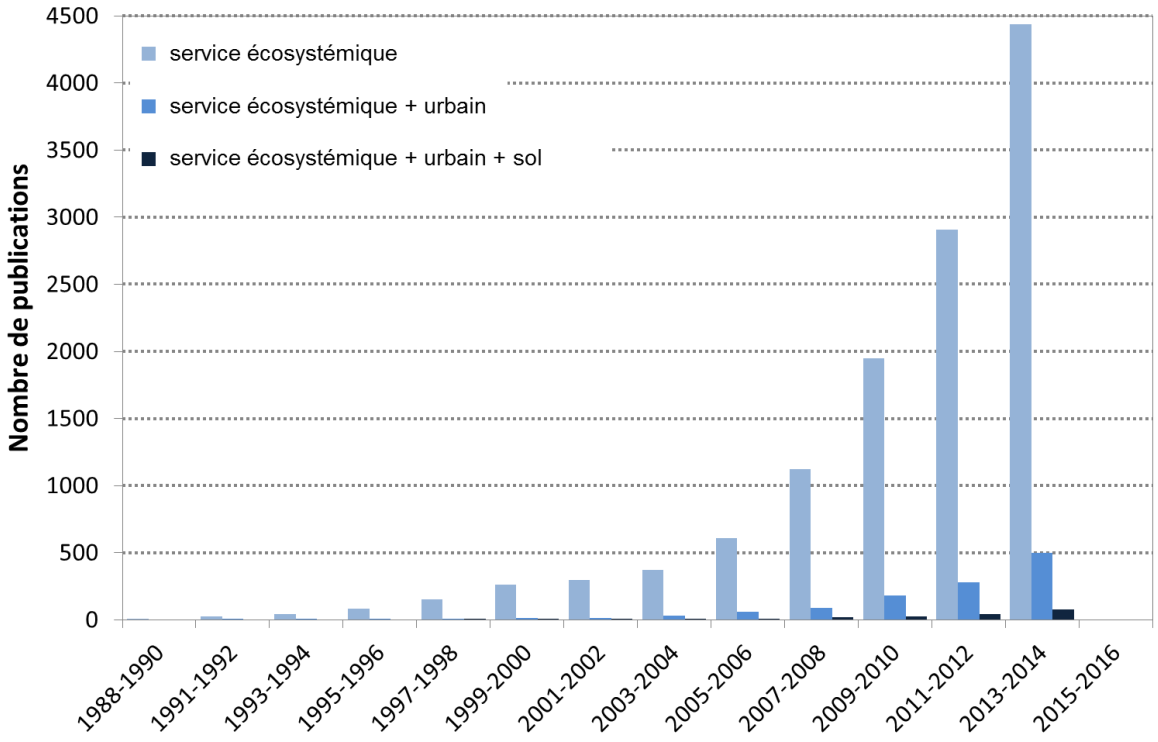


Figure 14 : Augmentation de l'intérêt de l'étude des services écosystémiques, y compris ceux fournis en milieu urbain et par le compartiment sol – entre 1995 et 2016, *Blanchart* et al., 2017

Outre ces grandes tendances évolutives, les résultats de l'analyse bibliométrique indiquent également (i) que les services écosystémiques restent encore, à ce jour, peu étudiés en milieu urbain et (ii) que malgré l'intérêt croissant constaté pour les services écosystémiques en milieu urbain, le sol urbain n'est à ce jour que peu considéré comme un écosystème fournissant des services. En effet, entre 1995 et 2016, le nombre de publications concernant les services écosystémiques en milieu urbain ne représente que 11% du nombre de publications ayant trait aux services écosystémiques en général (Figure 15). Il apparait que ce sont les milieux forestiers qui concentrent le plus les études sur les services écosystémiques sur cette période (26%). En effet, en 1995-1996, 39 publications scientifiques traitaient des services écosystémiques en milieu forestier, contre seulement 5 en milieu urbain. Aujourd'hui, cette tendance est plus équilibrée et les résultats de l'analyse bibliométrique traduisent un intérêt grandissant pour les services écosystémiques en milieu urbain. En 2015-2016, 933 publications scientifiques recensées dans *Web of Science* traitent des services écosystémiques et de l'environnement urbain, 814 publications traitent de ce sujet en milieu agricole et 1938 en milieu forestier.

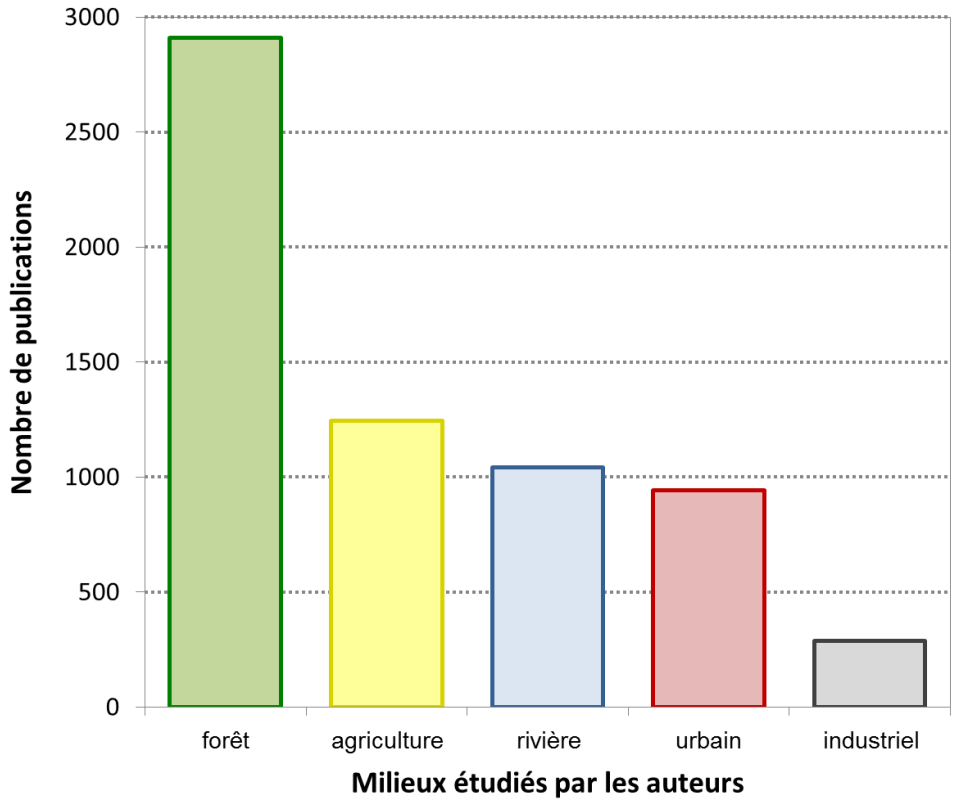


Figure 15 : Les services écosystémiques sont principalement discutés en milieux forestiers et agricoles – entre 1995 et 2016, *Blanchart* et al., 2017

I.5.2. L'utilité de considérer les services rendus par les sols urbains dans l'aménagement du territoire

L'analyse de la littérature permet de mettre en avant le fait qu'un certain nombre de programmes de recherche ont l'objectif d'évaluer les services écosystémiques rendus par les sols afin d'intégrer cet élément d'information dans les stratégies de la fabrique urbaine.

La considération des services écosystémiques pour une vision simplifiée de la complexité des sols urbains

Comme exposé ci-dessus, les processus intrinsèques au fonctionnement des sols urbains sont d'une complexité singulière. Compte tenu de la définition de ce concept, considérer les services écosystémiques rendus par les sols dans l'aménagement du territoire revient à considérer le produit fini fourni par les sols en faisant abstraction de la compréhension de leur complexité. De plus, cela permet, dans une logique de recherche de nature en ville, d'évaluer les bienfaits fournis par la nature, en mobilisant ce concept élaboré dans le cadre d'une vision anthropocentrée, comprise des acteurs de la fabrique urbaine. A ce titre, l'avantage de ce concept est d'être aussi bien compris par les acteurs des sciences du sol que par ceux de l'aménagement du territoire (Blanchart *et al.*, 2017). Ainsi, pour les besoins de communication, il s'avère plus facile de considérer dans l'aménagement du territoire

les potentialités des sols urbains sous l'angle des services écosystémiques (Mantziaras et Vigano, 2016).

La considération des services écosystémiques pour une comparaison des sols entre eux

Les services rendus par les sols urbains dépendent en premier lieu des interactions physiques, chimiques et biologiques qui se déroulent en leur sein. Aussi, compte tenu de l'hétérogénéité des sols urbains, considérer les services écosystémiques rendus par les sols permettra de comparer leur capacité à rendre ces services. A ce titre, Morel *et al.* (2014) ont classé les SUITMA selon leur capacité à fournir des services aux sociétés humaines (Tableau 3).

Tableau 3 : Proposition de catégories du SUITMAs basée sur les services écosystémiques rendus, *d'après Morel* et al*., 2014*

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

La considération des services écosystémiques pour une comparaison entre services rendus par les écosystèmes et services attendus d'un projet urbain

Si les sols urbains participent à la vie en milieu urbain (*e.g.* support d'activités et infrastructures humaines, production de biomasse destinée à la consommation humaine et animale), ils font également face à des enjeux environnementaux intrinsèques à ces milieux (*e.g.* régulation qualité de l'air, atténuation îlot de chaleur urbain). En mobilisant les services écosystémiques rendus par les sols urbains, il est possible de comprendre comment ces sols peuvent répondre à des enjeux de l'aménagement urbain (Tableau 4) (Blanchart *et al.*, 2017).

Tableau 4 : Les sols fournissent des services capables de répondre aux principaux enjeux et problématiques de l'aménagement du territoire en milieu urbain, *Blanchart* et al., 2017

Catégorie	Services	Description des services	Enjeux urbains
Régulation	Régulation de la qualité de l'air	Les sols et végétaux contribuent à la fixation de polluants (métaux lourds, HAP, NOx et SOx) émis par les activités humaines (Pataki *et al.,* 2011)	Qualité de l'air
	Régulation du climat local et global	Les sols et végétaux piègent les gaz à effets de serre, limitant le réchauffement climatique. Ils sont les principaux réservoirs continentaux de carbone (615 milliards tonnes carbone) (Pouyat *et al.*, 2006). Ils contribuent aussi à des mécanismes d'évaporation et de transpiration de l'eau et également à la réflexion des rayons du soleil : diminution du phénomène d'îlot de chaleur urbain	Réchauffement climatique Ilot de chaleur urbain
	Régulation des aléas naturels	Les sols permettent l'infiltration de l'eau = atténuation des inondations	Risques naturels
Approvisionnement	Habitat pour la biodiversité	Les sols peuvent héberger et offrir un habitat pour les organismes vivants (*i.e.* végétaux, champignons, faune) (Joimel *et al.*, 2016)	Préservation biodiversité Protection environnement
	Production de biomasse à vocation alimentaire	Les sols constituent le support sur lequel est cultivée la végétation destinée à la consommation humaine et animale. C'est un service recherché en milieu urbain car le rapport demande/approvisionnement en nourriture et eau est plus grand qu'ailleurs (Kroll *et al.*, 2012)	Dépendance alimentaire
	Ressources ornementales	Les sols sont fréquemment utilisés comme support de production végétale à vocation esthétique et paysagère (Blanc *et al.*, 2012 ; Menozzi, 2014)	Nature en ville
	Support d'activités humaines	Les sols sont largement utilisés par les individus comme support aux constructions et infrastructures	Développement activités humaines

I.5.3. L'évaluation de la qualité des sols

L'intérêt d'évaluer la qualité des sols

De nombreux programmes de recherche existent à ce jour, tant au niveau européen (*e.g.* Envasso, 2006 ; Urban SMS, 2008) que national (*e.g.* UqualiSol-ZU, 2008 ; Soilserv, 2016), sur l'évaluation de la qualité des sols. Généralement, ces programmes de recherche ont pour objectif de fournir des éléments de connaissance sur les sols d'un territoire donné, afin d'aider les gestionnaires de ces territoires à prendre des décisions au sujet de la stratégie d'aménagement de ces derniers. Compte tenu du développement récent de la pédologie urbaine et de la nécessaire protection des sols agricoles et forestiers, ces recherches ont d'abord porté sur ces sols faiblement anthropisés. C'est notamment le cas du projet Soilserv, dont l'objectif central est d'associer des approches biophysiques et socio-économiques pour évaluer les services écosystémiques des sols cultivés à différentes échelles spatiales et pour analyser leur prise en compte dans les choix stratégiques des exploitations agricoles et des gestionnaires de territoire (Soilserv, 2016). Le projet se développe ainsi autour de trois axes de recherche : 1) l'évaluation biophysique des services écosystémiques rendus par les sols à différentes échelles spatiales ; 2) la prédiction, aux échelles spatiales requises, des propriétés du sol nécessaires à l'évaluation des services écosystémiques des sols ; 3) l'intégration des services

écosystémiques rendus par les sols dans des modèles économiques de gestion d'exploitations agricoles, et dans des stratégies de développement des territoires, à l'instar des SCOT. Un autre projet de recherche national s'accorde à évaluer la qualité des sols, urbains cette fois-ci, afin d'intégrer cette information dans les prises de décision au cours de l'élaboration d'un autre document d'urbanisme qu'est le PLU. Il s'agit du programme de recherche UqualiSol-ZU (Keller *et al.*, 2012). Dans ce projet, c'est le caractère multifonctionnel du sol qui offre une orientation du choix d'usage. Il s'agit de développer un outil permettant (i) d'estimer la plurifonctionnalité des sols et (ii) préserver les sols les plus multifonctionnels lors de changements d'usages. L'objectif du projet a été de mettre au point, sur les territoires de deux communes du sud de la France (*i.e.* Gardanne et Rousset), une cartographie confrontant d'une part un indice de polyvalence d'usage des sols et d'autre part les zonages établis par les PLU de ces deux communes. Les résultats de ce projet avancent que le zonage des PLU ne reflète pas toujours les potentialités des sols (Keller *et al.*, 2012). En effet, il apparait par exemple que pour Gardanne, les zones à urbaniser sont planifiées sur des sols présentant une multifonctionnalité élevée, tandis que les zones naturelles sont maintenues sur les sols les moins aptes à répondre efficacement à des sollicitations environnementales diverses (Figure 16).

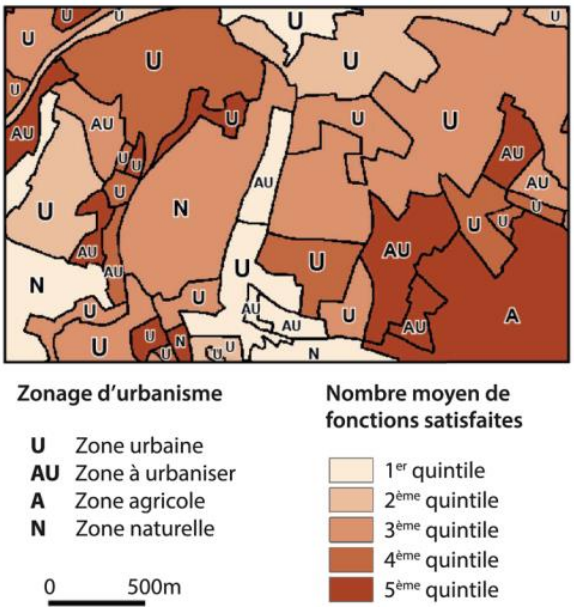


Figure 16 : Représentation de l'indice de polyvalence des sols dont une moyenne a été effectuée par zone du PLU (extrait sur Gardanne), *Keller* et al.*, 2012*

Les méthodes d'évaluation de la qualité des sols

Tout d'abord, l'étude de la littérature indique qu'il existe à ce jour de nombreux programmes de recherche ayant trait à l'évaluation de la qualité des sols. Pour évaluer la qualité des sols, le procédé comprend généralement une sélection d'indicateurs, puis l'intégration des résultats

en un indice principal (Andrews *et al.*, 2004). Ces évaluations ont généralement pour but de déceler les défauts de fonctions agricoles. Elles sont fondées sur un système de notes qui pondèrent de manière quantitative les valeurs indicatrices mesurées (Schindelbeck *et al.*, 2008; Velasquez *et al.*, 2007; Vrščaj *et al.*, 2008). Ainsi, l'outil européen « Urban SMS » a été développé suivant la méthode de Vrščaj *et al.* (2008) dans le but de mettre en valeur les fonctions de sols urbains dans les processus d'aménagement. Cette méthode a cependant été critiquée comme étant difficilement applicable et transposable, car les indicateurs utilisent des paramètres difficiles d'accès pour les sols urbains et ne répondent pas au besoin de gestion des sols urbains (Neel, 2012). Dans le projet UqualiSol-ZU c'est le caractère multifonctionnel du sol qui offre une orientation du choix d'usage. Il ne s'agit pas de mettre en évidence une ou plusieurs fonctions (le terme service écosystémique n'est pas utilisé dans ce programme), mais bien de développer un outil permettant (i) d'estimer la plurifonctionnalité des sols et (ii) de préserver les sols les plus multifonctionnels lors de changements d'usages. Dans le projet européen ENVASSO, d'autres indicateurs ont été sélectionnés pour leur capacité à évaluer, non pas directement les fonctions du sol, mais les menaces relatives au sol : l'érosion, la perte de matière organique, la contamination, la compaction, la salinisation, la perte de biodiversité, l'imperméabilisation, les glissements de terrain et les inondations. Ce projet cherche ainsi à définir, à l'aide d'inventaires, des bases pour construire un système de surveillance des sols en Europe, à l'échelle continentale. Les différents outils d'évaluation de la qualité des sols ont été analysés au regard des indicateurs qui sont mesurés et utilisés pour évaluer la qualité des sols en fonction des usages qu'ils peuvent rendre. Une synthèse de ces indicateurs est présentée ci-dessous (Tableau 5) (Blanchart *et al.*, 2018a).

Tableau 5 : Indicateurs d'état utilisés dans des outils d'évaluation de la qualité des sols urbains, *Blanchart* et al., 2018a

	Indicateurs	Outil d'évaluation
Propriétés globales du sol	profondeur du sol	*Urban SMS, UQualiSol-ZU*
	pente	*Urban SMS, UQualiSol-ZU*
	scellement	*ENVASSO*
	état de surface	*UQualiSol-ZU*
Indicateurs chimiques	matières organiques	*Urban SMS, UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	azote total	*Urban SMS, UQualiSol-ZU*
	ratio C/N	*ENVASSO*
	phosphore total	*UQualiSol-ZU*
	phosphore disponible	*Urban SMS*
	potassium disponible	*Urban SMS*
	pH	*Urban SMS, UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	capacité d'échange cationique	*UQualiSol-ZU*
	$CaCO_3$ total	*UQualiSol-ZU*
	conductivité électrique	*UQualiSol-ZU*
Indicateurs biologiques	diversité bactérienne	*UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	diversité macrofaune	*ENVASSO*
	diversité mésofaune	*ENVASSO*
	diversité microfaune & microflore	*ENVASSO*
	respiration du sol	*UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	structures biogéniques	*ENVASSO*
	activités enzymatiques	*UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	taux de dégradation des matières organiques	*ENVASSO*
Indicateurs physiques	classe texturale	*Urban SMS, UQualiSol-ZU*
	argile	*Urban SMS, UQualiSol-ZU*
	sable	*Urban SMS, UQualiSol-ZU*
	masse volumique apparente	*ENVASSO*
	porosité totale	*ENVASSO*
	eau utile	*UQualiSol-ZU*
	conductivité hydraulique à saturation	*UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	hydromorphie	*UQualiSol-ZU*
	érodibilité du sol	*UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	résistance mécanique	*UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	susceptibilité magnétique	*UQualiSol-ZU*
	porosité à l'air	*ENVASSO*
	classe de drainage	*ENVASSO*
Indicateurs de contamination	éléments en traces métalliques	*Urban SMS, UQualiSol-ZU, ENVASSO*
	polluants organiques persistants	*UQualiSol-ZU, ENVASSO*

Ces outils sont des premières pistes de développement méthodologique pour considérer la qualité agronomique des sols dans les prises de décision dans l'aménagement du territoire. Ils présentent cependant quelques limites pour ce travail de doctorat. Tout d'abord,

les indicateurs sélectionnés dans les trois programmes de recherche présentés précédemment ne sont pas adaptés au contexte urbain et à la destination des acteurs de l'aménagement, non spécialistes du fonctionnement pédologique des sols urbains. En effet, (i) l'acquisition de ces indicateurs nécessite des procédures complexes et parfois coûteuses, et (ii) leur complexité est telle qu'ils ne sont pas toujours facilement appréhendables et donc évaluables par les acteurs de l'aménagement du territoire (Neel *et al.*, 2012). Ensuite, ces indicateurs de sol sont, dans ces outils européens, quantifiés uniquement pour les horizons de surface. Ainsi, ces méthodologies ne prennent que très peu, voire pas du tout en compte l'hétérogénéité verticale du profil de sol. Il y aurait donc un intérêt à développer une méthodologie d'évaluation des indicateurs en considérant l'ensemble des différents horizons d'un même profil de sol urbain. Enfin, une des dernières limites que peuvent présenter ces outils est qu'ils mobilisent et quantifient des indicateurs de manière indépendante. Or, l'ensemble des processus biologiques, chimiques et physiques d'un sol, notamment en milieu urbain, sont dépendants (Williams et Hedlund, 2014).

I.6. La considération des potentialités des sols urbains par l'évaluation de leurs services écosystémiques : présentation du projet de recherche Destisol

I.6.1. Les objectifs scientifiques et opérationnels de Destisol

L'objectif de l'outil Destisol (Destisol, n.d.) est de traduire, par une évaluation semi-quantitative, les propriétés bio-physico-chimiques d'un sol urbain en niveau de services, avec deux étapes intermédiaires que sont l'évaluation des niveaux de fonctions et des couvertures compatibles (Blanchart *et al.*, 2018a). La mise en œuvre de cet outil et les différentes étapes nécessaires à l'évaluation semi-quantitative des services écosystémiques sont présentées dans les sections suivantes (Figure 17).

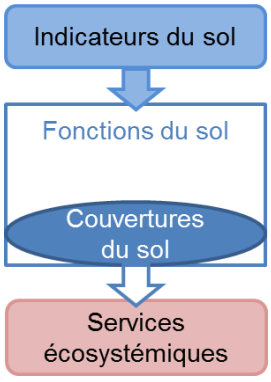


Figure 17 : Les différentes étapes de mise en œuvre de l'outil Destisol, *Destisol, n.d.*

I.6.2. Listes des indicateurs, couvertures, fonctions et services écosystémiques considérés dans Destisol

Les discussions entre agronomes, pédologues et urbanistes ont permis, au cours du programme Destisol, de définir une liste d'indicateurs d'état des sols à considérer dans l'évaluation des potentialités des sols urbains (Tableau 6).

Tableau 6 : Liste d'indicateurs du sol à considérer dans la démarche d'évaluation de la qualité du sol, *Destisol, n.d.*

Catégorie	Indicateurs du sol	Code
Morphologique	pente	I1
	profondeur de sol	I2
	couleur	I3
	densité racinaire	I4
	activité biologique	I5
	structure	I6
	texture	I7
	compacité	I8
	% éléments grossiers	I9
	% artefacts	I10
	hydromorphie	I11
	traces de contaminations	I12
Physico-chimique	pH	I13
	$P_2O_{5\ Olsen}$	I14
	matière organique	I15
	Azote total	I16
	C:N	I17
	$CaCO_3$	I18
Géotechnique	Classification GTR	I19
Contamination	ETM totaux	I20
	CTO totaux (HCT, HAP, PCB, BTEX)	I21

Ces 20 indicateurs d'état sont décrits lors des campagnes de terrain, pour chaque horizon de chaque profil de sol ouvert. Les résultats des indicateurs constituent les données d'entrée de l'outil Destisol. Ils permettent en premier lieu l'évaluation des niveaux de fonctions.

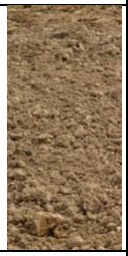
A ce titre, Destisol considère 16 fonctions du sol (Tableau 7). Se basant sur l'étude des sols des milieux anthropisés, ce projet mobilise un paramètre supplémentaire à considérer dans l'évaluation des fonctions du sol : la couverture des sols. Aussi, le tableau précise si la fonction du sol considérée influence la couverture du sol, ou vice-versa. Par exemple, pour la fonction F3 « stockage de carbone », le fait qu'un sol puisse oui ou non assurer cette fonction n'influera en aucune manière la couverture du sol. A l'inverse, il est logique qu'une couverture de sol de type prairie favorise le rôle de stockage du carbone du sol, quand une couverture de type bitume l'inhibe.

Tableau 7 : Liste de fonctions du sol à considérer dans la démarche d'évaluation de la qualité du sol, *Destisol, n.d.*

Catégorie	Fonction du sol	Influence la couverture du sol	Dépend de la couverture du sol	Code
Fonctionnement interne	Recyclage de la M.O. et des nutriments	Oui	Oui	F1
	Protection contre l'érosion	Oui	Oui	F2
Carbone	Stockage de carbone	Non	Oui	F3
Fertilité	Fertilité physico-chimique (végétation herbacée)	Oui	Oui	F4
	Fertilité physico-chimique (végétation potagère)	Oui	Oui	F5
	Fertilité physico-chimique (végétation arbustive)	Oui	Oui	F6
	Fertilité physico-chimique (végétation arborée)	Oui	Oui	F7
Eau	Circulation et infiltration de l'eau	Oui	Oui	F8
	Rétention de l'eau	Oui	Oui	F9
Contaminations	Niveau de contamination par des polluants	Oui	Non	F10
	Rétention physique des polluants	Non	Non	F11
	Dégradation des CTO	Non	Oui	F12
Activités humaines	Support de voirie légère	Oui	Oui	F13
	Support de voirie lourde	Oui	Oui	F14
	Support de bâtiment en fondations superficielles	Oui	Oui	F15
	Support de réseau divers	Non	Oui	F16

La liste des couvertures de sol considérées pour Destisol a été établie sur la base de classifications existantes et s'appuie essentiellement sur le rapport provisoire de « Préconisations pour le référentiel d'observation des sols à grande échelle » élaboré par le CEREMA (Tableau 8). Cette liste tient également compte des classifications de couvertures apportées par Corine Land Cover, IAU et d'autres articles issus de la littérature.

Tableau 8 : Nomenclature des couvertures de sol, *Destisol, n.d.*

Sol scellé (imperméabilisé > 90%)		**Sol semi-scellé (50% < imperméabilisé < 90%)**		**Sol non scellé (imperméabilisé <50%)**				
Bâti	Voies de circulation	Voies de circulation	Voies de circulation	Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti
Sans végétation	Sans végétation	Sans végétation	Pelouse et prairie	Sans végétation	Pelouse et prairie	potager et ornemental	Arbustes	Arbres
								
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9

Suivant les propositions et les recommandations de nombreux auteurs (Costanza *et al.*, 1997 ; De Groot *et al.*, 2002 ; MEA, 2003 ; Escobedo *et al.*, 2011 ; Adhikari et Hartemink, 2016), Destisol propose une liste de services écosystémiques pertinents au regard des enjeux spécifiques de l'espace urbain et à celui des rôles du sol dans ces milieux (Tableau 9). Cette liste se compose

de trois des quatre catégories de services écosystémiques habituellement présentées dans la littérature (support, régulation, approvisionnement et culture), considérant que les services de support sont des prestations écosystémiques intermédiaires et n'ont par conséquent pas leur place dans un inventaire de services écosystémiques finaux. Il a donc été fait le choix d'intégrer les services écosystémiques de support dans chacune des trois autres catégories (CICES, 2013).

Tableau 9 : Proposition de liste réduite des services écosystémiques rendus par les Technosols, *Destisol, n.d.*

Catégorie	Service écosystémique		Code
Régulation	Régulation de la qualité de l'air		S1
	Régulation du climat	Climat local	S2
		Climat global	S3
	Régulation des aléas naturels	Inondations	S4
		Erosion	S5
	Stockage des déchets		S6
	Purification de l'eau		S7
Approvisionnement	Habitat pour la biodiversité		S8
	Aliments		S9
	Ressources ornementales	Herbacées / Fleurs	S10
		Arbustes	S11
		Arbres	S12
	Energie	Production de biomasse	S13
	Support physique d'infra / superstructures	Voirie légère / stationnement	S14
		Voirie lourde	S15
		Bâtiment	S16
		Réseaux VRD	S17
	Support d'activités humaines	Activités sensibles et très sensibles (*e.g.* école, centre de soins, résidentiel)	S18

I.6.3. L'outil d'aide à la décision Destisol

L'outil d'aide à la décision Destisol peut intervenir dans le cas d'une rehabilitation de friche urbaine, sur laquelle est envisagé un projet urbain (projet A) (Figure 18).

La première étape de la démarche Destisol est une étude documentaire complétée par une visite de terrain, permettant de décrire le site et son environnement et de proposer un zonage du site (« Zone 1 », « Zone 2 », « Zone 3 »), où chaque zone de sol est supposée homogène.

La seconde étape est la réalisation du diagnostic sur site, rendu possible par l'ouverture de fosses pédologiques. L'ensemble des indicateurs morphologiques fait alors l'objet d'une description. En complément, des prélèvements de sols au niveau de chaque horizon identifié sont réalisés, pour mettre en œuvre les indicateurs physico-chimiques, géotechniques et contamination qui sont pertinents au regard de l'aspect des matériaux rencontrés. Cette phase d'investigation de terrain peut conduire à une révision du zonage du site pour refléter la réalité de la diversité des sols rencontrés.

La troisième étape se base sur le fonctionnement de l'outil. D'abord, l'outil convertit les valeurs d'indicateurs en une note de 0 à 3, pour chacune des zones. Ces notes d'indicateurs sont elles-mêmes agrégées pour déterminer des notes de fonctions. Une première sortie de l'outil est alors de déterminer quelles sont les couvertures qui sont compatibles avec l'état actuel des sols de chacune des zones (*e.g.* sur la « Zone 1 », en considérant l'état du sol au moment du diagnostic, seules les couvertures « voie de circulation » et « pelouse » ; au contraire, toutes les couvertures sont possibles sur la « Zone 3 »). Ensuite, deux options sont possibles :

- l'outil compare les couvertures du sol du « projet A » avec les couvertures envisageables en l'état. En cas d'incompatibilité, il peut présenter à l'utilisateur les propriétés optimales à atteindre pour rétablir les compatibilités. Il resterait à l'aménageur à améliorer le sol de la zone par des travaux de terrassement ou de génie afin de rendre possible le « projet A » ;
- l'alternative est la proposition par l'outil d'un « projet B » qui serait une révision spatiale du « projet A » (à superficie de couvertures de sol constantes pour conserver les fonctionnalités du projet initial). Le « projet B » modifierait l'emplacement des aménagements pour tirer bénéfice des potentialités actuelles des sols du site. Par exemple, il s'agirait de positionner une zone de jardins potagers sur les terres les plus fertiles, de localiser les bâtiments sur les sols les plus pauvres et de construire un lot de parkings sur des zones présentant une contamination résiduelle.

La dernière étape est la semi-quantification des services écosystémiques rendus : par l'état actuel du site, le « projet A » et le « projet B ». Il est attendu que, de par le processus d'optimisation de l'allocation des usages aux sols qui sont adaptés, le niveau de services écosystémiques soit plus élevé pour le « projet B ». Il est à noter que cette dernière étape peut également être l'occasion de modifier les principes du projet initial pour répondre à des enjeux locaux forts comme la régulation d'inondations ou l'habitat pour la biodiversité.

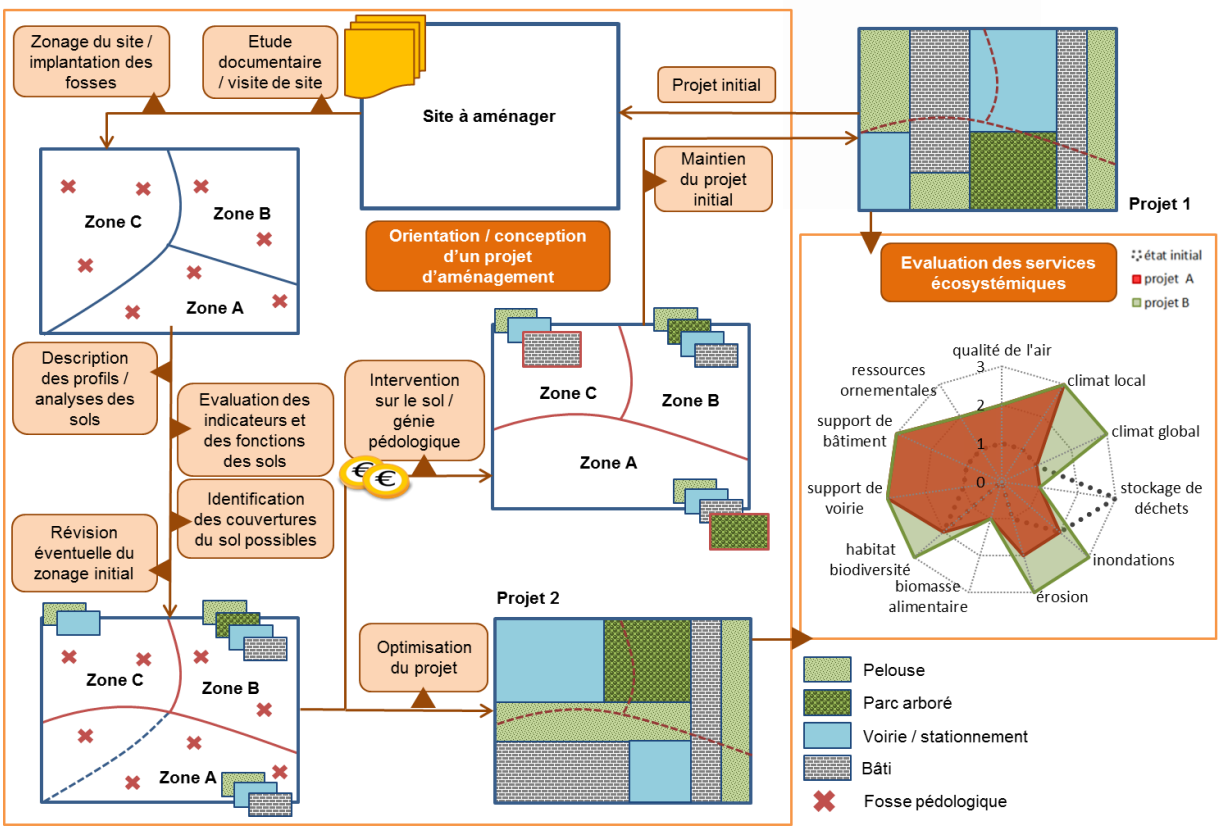


Figure 18 : Exemple de fonctionnement de l'outil Destisol appliqué à un projet d'aménagement d'une friche urbaine, *Destisol, n.d.*

Conclusion et questionnements scientifiques

A ce jour, les stratégies de réponse des politiques publiques de la fabrique urbaine aux enjeux environnementaux se sont progressivement attachées à (i) préserver les sols naturels, agricoles et forestiers de toute urbanisation en encourageant le renouvellement urbain, (ii) développer des mesures législatives de protection de l'air et de l'eau et (iii) considérer les fonctions écologiques de la nature urbaine. A ce titre, la revue de la littérature existante ne permet pas de mettre en exergue la considération accordée aux rôles des sols urbains dans les stratégies de réponses aux enjeux environnementaux urbains.

Du côté des sciences agronomiques, les récentes recherches sur les sols urbains apportent des premiers éléments de réponse quant à leur genèse, évolution et fonctionnement. Il s'avère à ce titre que ce système se différencie des sols agricoles et forestiers par son importante hétérogénéité, à la fois horizontale et verticale. Certains sols urbains présentent d'ailleurs des caractéristiques agronomiques proches de certains sols agricoles voire forestiers. Cette hétérogénéité constitue intrinsèquement une difficulté forte à la capacité d'appréhender les caractéristiques biologiques, physiques et chimiques des sols urbains en général et ceux d'un site de futur projet urbain en particulier. Par extrapolation, le développement

de méthodes d'évaluation des services écosystémiques adaptées au contexte urbain apparaît également nécessaire.

Pour cela, le chapitre III de ce présent manuscrit s'attache à **décrire la considération des sols urbains dans la fabrique urbaine**, à la fois dans l'aménagement du territoire et dans l'urbanisme opérationnel (Figure 19). Pour ce faire, il a pour objectif de répondre aux questions scientifiques suivantes :

(1) quels facteurs influencent la considération des sols urbains (*e.g.* échelle, aire urbaine, acteur) ? ;
(2) existe-t-il une potentielle fracture dans la considération des sols urbains entre l'aménagement du territoire et l'urbanisme opérationnel ?

Ensuite, pour enrichir les connaissances du système « sol urbain » en pédologie urbaine, le chapitre IV de ce présent manuscrit vise à **caractériser les propriétés biologiques, physiques et chimiques de sols d'aires urbaines** (Figure 19). Pour ce faire, il traite de plusieurs questions :

(1) la composition et les caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains sont-elles exclusivement dominées par des processus anthropiques ? ;
(2) ces processus anthropiques homogénéisent-ils les caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains, de sorte qu'un sol urbain d'une aire urbaine soit plus proche d'un sol urbain d'une autre aire urbaine que d'un sol naturel présent dans les espaces agricoles de la même aire urbaine ? ;
(3) est-il possible de mettre en exergue un nombre restreint de paramètres biologiques, physiques et/ou chimiques qui constituent des indicateurs d'état des sols urbains ? ;
(4) existe-t-il une typologie des sols au sein d'une aire urbaine ?

Le chapitre V s'attache ensuite à **évaluer les fonctions et services écosystémiques que les sols des milieux urbains sont aptes à fournir** (Figure 19). Pour ce faire, il apporte des réponses aux questions suivantes :

(1) comment adapter la méthodologie d'évaluation des services écosystémiques aux milieux urbains ? ;
(2) un sol urbain est-il moins fonctionnel qu'un sol naturel ? ;
(3) les sols urbains sont-ils en mesure d'apporter des réponses aux enjeux environnementaux urbains ?

Enfin, le dernier chapitre permet d'**apporter des éléments de réponse quant à l'intérêt de considérer les services écosystémiques rendus par les sols urbains pour le développement de quartiers et villes durables** (Figure 19). Il est alors sous-tendu par un double questionnement, à la fois scientifique (1) et opérationnel (2) :

(1) quelle est la pertinence de l'approche des sols urbains par les services écosystémiques pour l'évaluation des bénéfices environnementaux d'un projet urbain ? ;

(2) l'intégration de l'évaluation des services écosystémiques rendus par les sols urbains dans la définition d'un projet urbain peut-elle permettre d'aller jusqu'à une optimisation des services environnementaux ?

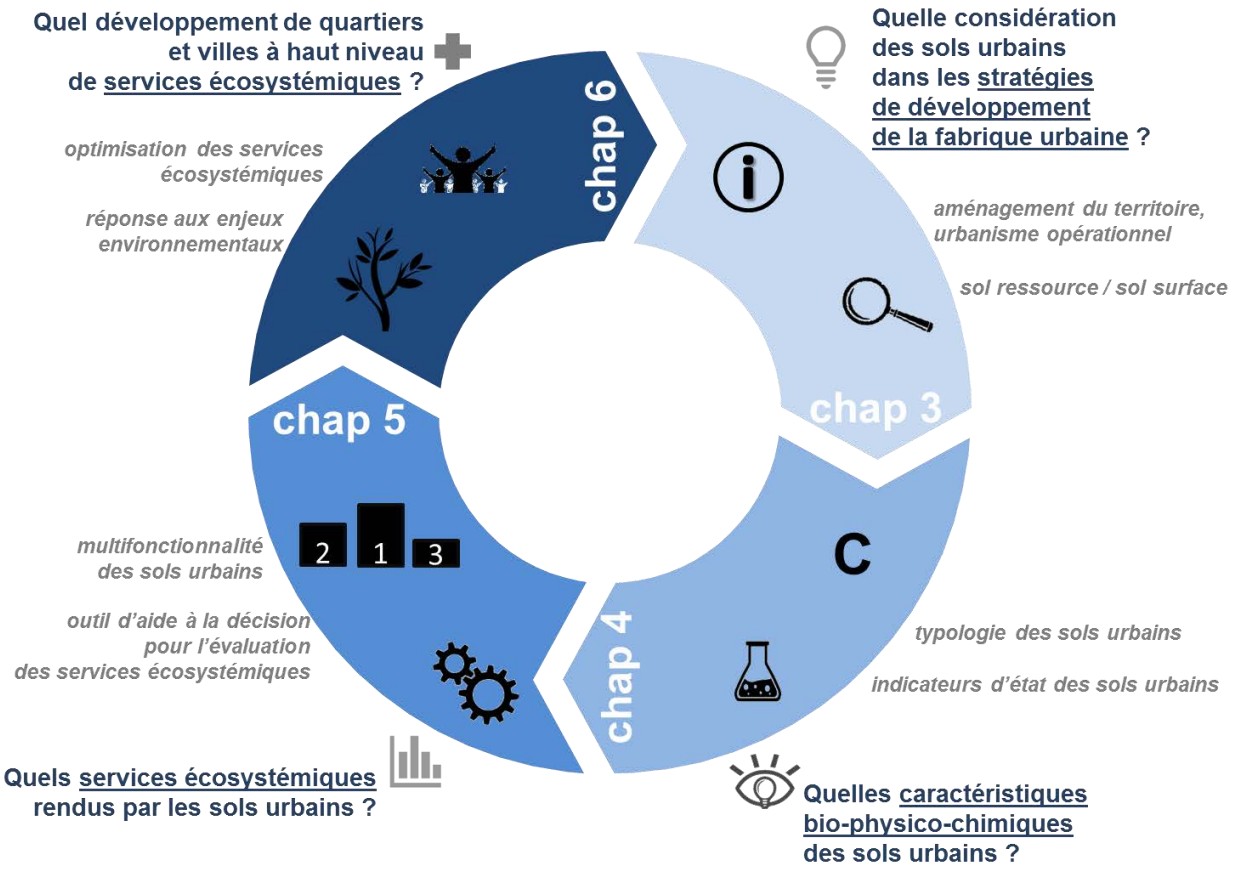


Figure 19 : Problématiques scientifiques du doctorat

Chapitre II – Matériels et méthodes

Les questions scientifiques soulevées par ce travail de doctorat induisent le développement de matériels et méthodes empruntés aux sciences agronomiques et aux sciences sociales. Elément commun à ces deux disciplines, le sol est le matériel étudié pour ce doctorat (Figure 20). Son analyse induit la mobilisation de matériels, composés de trois aires urbaines (*e.g.* Métropole du Grand Nancy, Métropole d'Aix-Marseille Provence, Nantes Métropole) ; de trois typologies de projets urbains (*e.g.* écoquartier, rénovation urbaine, extension urbaine) ; de documents de planification et d'acteurs de la fabrique urbaine travaillant pour la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel (Figure 20-1). L'étude de ces différents matériels implique le développement de plusieurs méthodes distinctes (Figure 20-2). Premièrement, une analyse lexicale des documents de planification et une enquête auprès des acteurs de la planification territoriale ont été menées. Une série d'entretiens avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel a également été conduite. Du côté des sciences du sol, une campagne d'échantillonnage et de description de sols urbains a été faite en vue d'alimenter l'outil d'aide à la décision Destisol, permettant alors de considérer les potentialités de ces sols urbains par l'évaluation de leurs fonctions et services écosystémiques. Enfin, la tenue d'un atelier sur les sols urbains, la participation à des réunions sur l'élaboration du PLUi de la Métropole du Grand Nancy ainsi qu'à des semaines de travail interdisciplinaire entre étudiants paysagistes et ingénieurs agronomes ont permis de comprendre comment la considération des potentialités des sols pourrait être intégrée dans les stratégies de la fabrique urbaine. L'ensemble de ces méthodes sont présentées de manière indépendante dans ce chapitre mais ont été menées de manière conjointe et interdépendante au cours du doctorat.

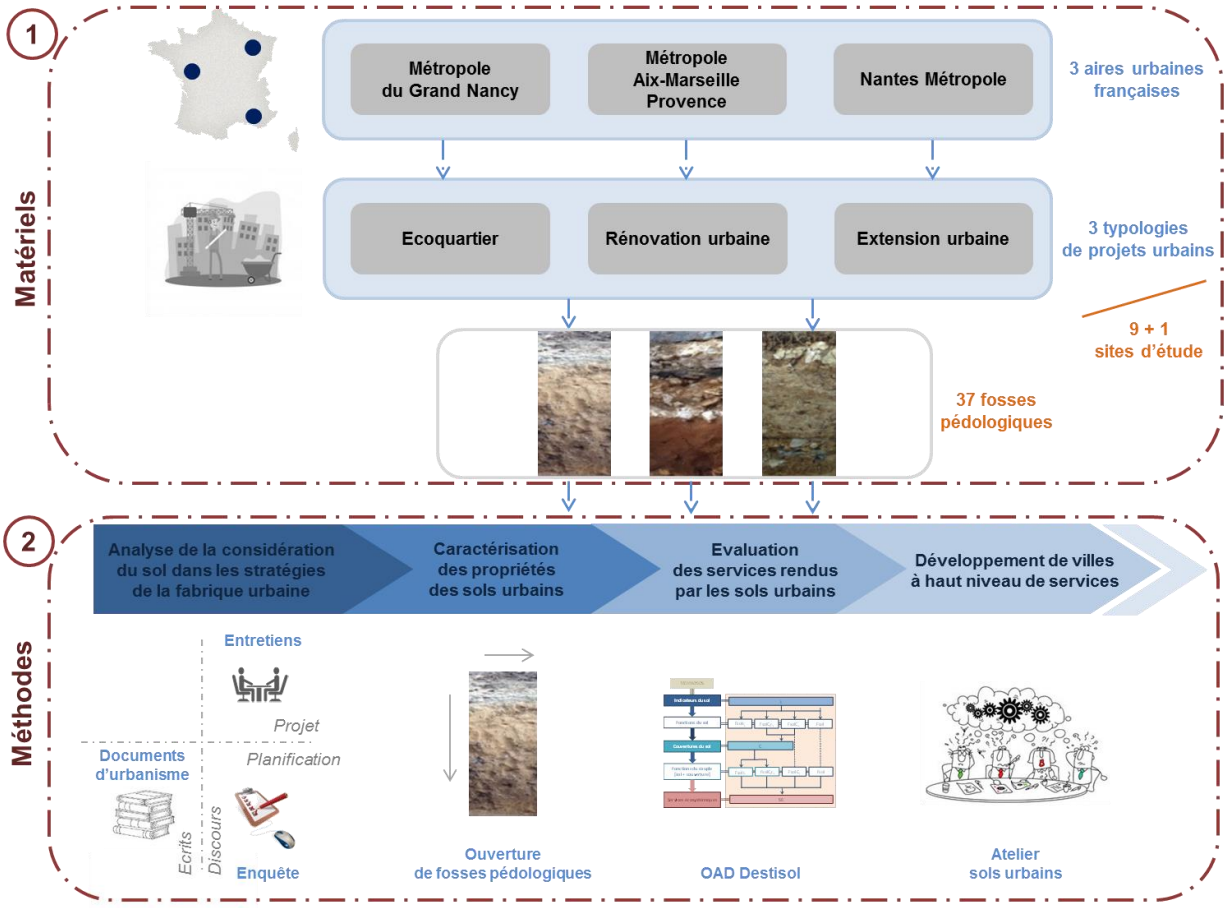


Figure 20 : Matériels et méthodes engagés dans le doctorat

II.1. Matériels

L'étude des sols urbains a nécessité la sélection de quatre matériels distincts : des aires urbaines au contexte pédoclimatique différent ; des documents de la planification territoriale ; des projets urbains dont les objectifs opérationnels diffèrent ; ainsi qu'une sélection d'acteurs de la fabrique urbaine (Figure 20).

II.1.1. La mobilisation de trois aires urbaines

Afin de considérer l'hétérogénéité représentative de l'histoire de l'urbanisation française, pour respecter le zonage énoncé par l'INSEE (INSEE, 2011) et en vue de prendre en compte une diversité d'usages des sols urbains (*e.g.* support de bâtiments, espaces verts, agricoles, forestiers) la zone d'étude choisie a été celle de l'aire urbaine.

Trois aires urbaines ont été mobilisées, correspondant chacune à un contexte climatique, géologique et pédologique différent ainsi qu'à un processus d'urbanisation contrasté (*e.g.* monocentrique, polycentrique).

La Métropole du Grand Nancy (MGN) est une aire urbaine de la Région Grand Est. Elle se situe sous climat océanique dégradé de type semi-continental. La géologie date du Secondaire (Jurassique) et est marquée par la présence de marnes, argiles et calcaires. Concernant l'urbanisation de ce territoire, l'aire urbaine du Grand Nancy se rattache à un développement monocentrique, où Nancy est la ville centre. La population du Grand Nancy s'élève à 435 000 habitants, pour une superficie de 142,3 km^2.

La Métropole d'Aix-Marseille Provence (MAMP) est une aire urbaine située dans la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, sous climat méditerranéen. Les sols de cette région correspondent à la période du Tertiaire (Oligocène, Miocène) et se caractérisent expressément par une dominante calcaire. L'aire urbaine d'Aix-Marseille Provence a connu un développement de type polycentrique. Sa superficie avoisine les 3 173 km^2 et sa population s'élève à 1 753 000 habitants.

Enfin, Nantes Métropole (NM) se situe dans l'ouest de la France, en Région Pays de la Loire. Cette aire urbaine se situe sous climat tempéré océanique. Ce massif ancien remonte aux temps du Précambrien et se caractérise par une présence d'altérites argileuses indifférenciées datant du Paléocène qui surplombent des micaschistes albitiques à biotite et muscovite. L'aire urbaine de Nantes Métropole se caractérise par une population de 935 000 habitants et une superficie de 537,70 km^2.

II.1.2. La sélection des documents de planification territoriale

L'étude des documents de planification territoriale

Les documents de planification sont considérés, en France, comme le reflet direct de la vision politique que portent les collectivités territoriales sur leur territoire et des moyens et décisions qu'elles mettent en œuvre pour agir. Ces documents ont donc été un matériel intéressant à analyser pour s'interroger sur les considérations, les discours, les attentes et les représentations formulés par les collectivités territoriales au regard des sols. Grâce à leur caractère obligatoire et normé, ils permettaient d'établir une méthode d'analyse itérative et comparative sur l'ensemble des terrains d'étude définis ci-après.

La sélection des terrains d'étude

Une première analyse lexicale générale a été conduite. Cette analyse lexicale des documents de planification s'est faite en considérant les 20 plus grandes aires urbaines de France (INSEE, 2016). Ce panel d'aires urbaines a l'avantage de présenter des caractéristiques démographiques, géographiques, climatiques différentes, reflétant ainsi l'hétérogénéité des aires urbaines françaises. La liste de ces 20 aires urbaines est présentée en annexe (Annexe 1).

Une deuxième analyse lexicale a été conduite afin de répondre à l'hypothèse concernant l'évolution de la considération du sol en fonction de l'éloignement au centre urbain. Cette analyse lexicale a été conduite en considérant les documents de planification des unités urbaines constituant les trois aires urbaines mobilisées pour ce doctorat : MGN, MAMP et NM (Annexe 2).

La sélection des documents de planification territoriale

L'analyse lexicale générale se voulait la plus exhaustive possible, afin d'être représentative de l'ensemble des documents afférents aux politiques publiques locales. A cet égard, ce sont 7 documents de planification qui ont été sélectionnés, correspondant chacun à une échelle de territoire et une thématique d'étude différentes (Tableau 10).

Tableau 10 : Documents de planification étudiés pour l'analyse lexicale générale (*e.g.* portée, thématique et échelle d'application)

Document de planification	Portée principale	Thématique principale	Echelle d'application
Plan local d'urbanisme	Principal document de planification de l'urbanisme, niveau communal ou intercommunal	Occupation du sol	Locale
Plan de déplacements urbains	Document de planification qui détermine l'organisation du transport des personnes et des marchandises, la circulation et le stationnement	Transport	
Programme local de l'habitat	Principal dispositif en matière de politique du logement au niveau local	Habitat	
Schéma de cohérence territoriale	Document de planification qui détermine, à l'échelle de plusieurs communes ou groupements de communes, un projet de territoire visant à mettre en cohérence l'ensemble des politiques sectorielles notamment en matière d'habitat, de mobilité, d'aménagement commercial, d'environnement et de paysage	Occupation du sol	Intercommunale
Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie	Il décline aux échelles régionales une partie du contenu de la législation européenne sur le climat et l'énergie	Climat, air et énergie	Régionale
Schéma régional de cohérence écologique	Schéma d'aménagement du territoire et de protection de certaines ressources naturelles (biodiversité, réseau écologique, habitats naturels) et visant le bon état écologique de l'eau imposé par la directive cadre sur l'eau	Ecologie	
Schéma d'aménagement et de gestion des eaux	Document de planification ayant pour objet de mettre en œuvre les grands principes de la loi sur l'eau du 03/01/92	Eau	Bassin versant

L'analyse lexicale portant sur les trois aires urbaines mobilisées s'est concentrée uniquement sur l'étude des PLU de leurs unités urbaines. Le PLU est en effet un document de planification élaboré indépendamment pour chaque unité urbaine française.

Les aires urbaines retirées de l'analyse lexicale générale

Pour l'analyse lexicale générale des documents de planification, certains documents n'existaient pas pour certaines aires urbaines, car ils n'avaient pas été édités ou n'étaient pas disponibles en version informatique. Afin de pouvoir comparer le même matériel pour chaque aire urbaine, le choix a été fait de supprimer certaines aires urbaines de cette analyse générale.

Cela permettait en effet de garder un nombre de documents à analyser conséquent, ce qui n'aurait pas été le cas si le choix s'était porté sur la suppression des documents non communs à l'ensemble des aires urbaines analysées. A ce titre, les aires urbaines de Lille, Nice, Douai-Lens, Toulon et Clermont-Ferrand ont été retirées de l'analyse lexicale.

Le matériel des deux analyses lexicales

In fine, l'analyse lexicale générale des documents de planification a porté sur quinze aires urbaines et sept documents ; soit un total de 105 documents de planification analysés.

Concernant l'analyse lexicale des unités urbaines des trois aires urbaines mobilisées, elle a été conduite sur le PLU de 60 unités urbaines différentes ; soit un total de 60 documents de planification analysés (Annexe 2).

II.1.3. La considération de trois typologies de projets urbains

Trois typologies différentes de projets urbains ont été sélectionnées dans chacune des trois aires urbaines mobilisées, correspondant à la manière la plus fréquente de faire du projet urbain en France actuellement : l'écoquartier, la rénovation urbaine et l'extension urbaine (Figure 20). Pour MGN, ce sont quatre procédures d'urbanisme opérationnel qui ont été sélectionnées, compte tenu de l'opportunité d'échantillonner les sols sur le site de la MJC des 3 Maisons. *In fine*, dix chantiers ont constitué la base du travail de terrain (Tableau 11). Une fiche synthétisant l'ensemble des informations du projet et de son occupation de sol a été réalisée pour les 10 projets urbains étudiés. Un exemple d'une de ces fiches est présenté en annexe (Annexe 3).

Tableau 11 : Liste des dix projets urbains étudiés dans le cadre du doctorat
(ZAC = zone d'aménagement concerté ; OIN = opération d'intérêt national)

Aire urbaine	Projet urbain	Statut	Nom du projet	Abréviation
MGN	Eco Quartier	ZAC	Biancamaria	MGN-B
	Renouvellement urbain	ZAC	Plateau de Haye	MGN-PH
	Extension urbaine	ZAC	La Haie Cerlin	MGN-HC
	Rénovation urbaine	ZAC	MJC des 3 Maisons	MGN-MJC
MAMP	Eco Cité	OIN	Euromed	MAMP-E
	Renouvellement urbain	ZAC	Plan d'Aou	MAMP-PA
	Extension urbaine	ZAC	Sainte Marthe	MAMP-SM
NM	Eco Quartier	ZAC	La Jaguère	NM-LJ
	Renouvellement urbain	ZAC	La Boissière	NM-LB
	Extension urbaine	ZAC	Champ de Manœuvre	NM-CM

II.1.4. La mobilisation d'acteurs de la fabrique urbaine

La sélection des services de planification territoriale

En partenariat avec deux autres thèses co-financées par l'ADEME sur la thématique des sols urbains *(Aurélie Cambou, AgroCampus Ouest centre d'Angers et Laboratoire Sols et Environnement à Vandœuvre-lès-Nancy, Université de Lorraine-INRA ; & Baptiste Sauvaget,*

BRGM à Nantes et Mines Paris Tech à Paris), divers acteurs de la planification territoriale et de la recherche scientifique ont été contactés, pour leur appartenance à des entités travaillant quotidiennement sur la thématique des sols. Ces entités étaient des instituts de recherche, des bureaux d'études, des communautés d'agglomération et des Villes. Pour les communautés d'agglomération et les Villes, ce sont les services urbanisme / planification et espaces verts / environnement ainsi que les élus qui ont été contactés. Elles ont été contactées pour les 40 plus grandes unités urbaines de France et les 20 plus grandes aires urbaines françaises. Au final, près de 360 acteurs de l'aménagement du territoire ont été contactés.

La sélection des acteurs de l'urbanisme opérationnel

L'analyse de la considération du sol à l'échelle du projet urbain a entrainé la sélection d'acteurs de l'urbanisme opérationnel, dans le but de réaliser, avec eux, des entretiens semi-directifs. Les acteurs à interviewer ont été sélectionnés car ils intervenaient sur un des dix sites de projets urbains étudiés. Pour chaque projet urbain, l'objectif était de pouvoir s'entretenir avec un acteur de la société d'aménagement, un acteur de la MOA, un acteur de la MOE et un acteur du BTP. La réalité de l'urbanisme opérationnel fait que toutes ces structures (i) n'existaient pas pour l'ensemble des projets urbains ou (ii) n'avaient pas encore été désignées au moment du travail d'entretien. Il n'a donc pas été possible de rencontrer ces quatre acteurs différents pour chacun des sites de projet urbain. *In fine*, ce sont 23 acteurs de l'urbanisme opérationnel qui ont été interrogés (Tableau 12).

Tableau 12 : Liste des professions et organismes mobilisés pour les entretiens avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel

Aire urbaine	Projet	Profession	Organisme
MGN	MGN-B	MOA	Grand Nancy
		MOE	Intensité architecture
	MGN-PH	Aménageur	SOLOREM
		MOA	Grand Nancy
		MOE	Bureau Alexandre Chemetoff
	MGN-HC	Aménageur	SOLOREM
		MOA	Grand Nancy
		Chef de chantier	EUROVIA
	-	MOA	Grand Nancy
MAMP	MAMP-E	Aménageur	EUROMED
		MOA Déléguée	AREA PACA
	MAMP-PA	ANRU	Marseille Rénovation Urbaine
		MOA	Marseille Métropole
		MOE	Atelier Wagon
	MAMP-SM	Aménageur	SOLEAM
		MOA	Ville de Marseille
NM	NM-LJ	Aménageur	Loire Océan Développement
		MOE	SCE
		Chef de chantier	Mabileau
	NM-LB	MOA	Nantes Métropole
		MOE	Nantes Ville – Espaces verts
		Chef de Chantier	Nantes Ville – Espaces verts
	NM-CM	Aménageur	Nantes Métropole Aménagement

II.2. Méthodes

II.2.1. La considération des sols dans les écrits et les discours de la planification territoriale

Afin de mieux comprendre la considération du sol dans l'aménagement du territoire, une analyse lexicale des documents de planification a été menée et complétée par l'envoi d'un sondage à des acteurs de la planification territoriale (Figure 20).

L'analyse lexicale des documents de planification

En se fondant sur une étude comparative de (i) 15 aires urbaines (n=105) et (ii) 60 unités urbaines (n=60), les analyses lexicales des documents de planification se devaient d'étudier la considération des sols dans les documents afférents à ces domaines (Figure 21). Pour ce faire, une analyse lexicale quantitative a dans un premier temps été conduite. Sa méthodologie s'est fondée sur l'utilisation d'un logiciel d'analyse sémantique. Ce logiciel a permis d'analyser quantitativement la présence d'un champ sémantique dans un document, en comptant le nombre d'occurrences d'un mot dans ce document. Cette analyse quantitative a par la suite été complétée par une analyse lexicale qualitative (lecture et étude des documents de planification).

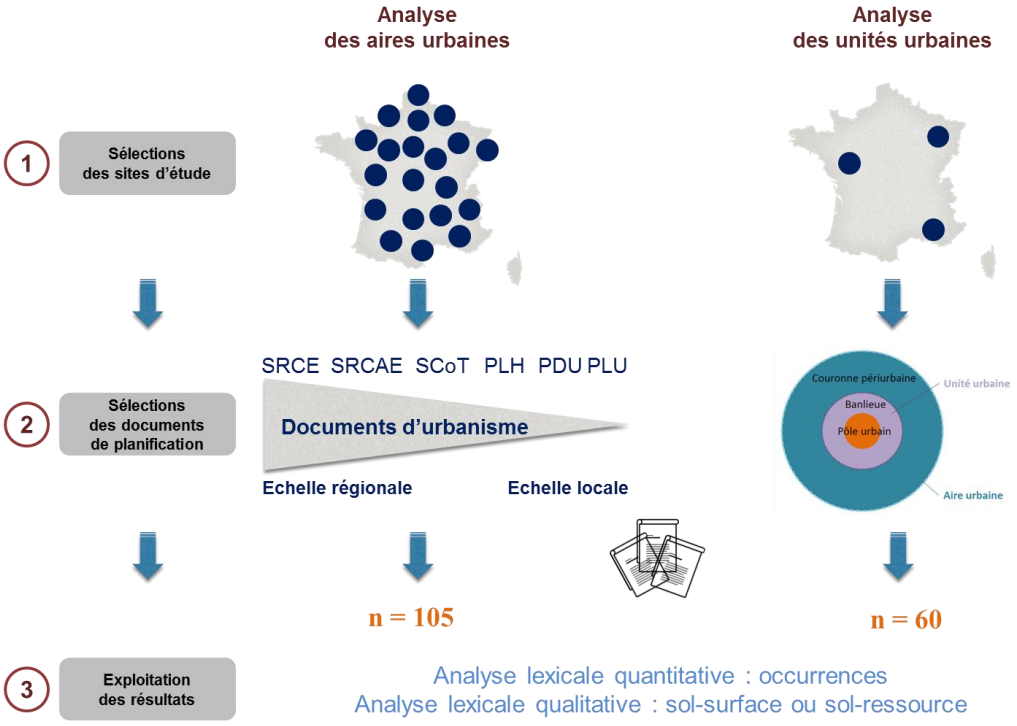


Figure 21 : Méthodologie générale des analyses lexicales des documents de planification

Les analyses lexicales des documents de planification ont mobilisé l'étude de 11 mots différents. Tout d'abord, considérant l'objectif général de l'étude, le mot « sol » a été sélectionné. Ensuite, le mot « terre » a été sélectionné, considérant le fait que ce mot est parfois employé dans le langage courant pour faire référence au sol. Les mots tels que « eau », « air », en tant que compartiments des écosystèmes, ont également été analysés afin d'établir des comparaisons avec la considération de l'écosystème « sol ». Les mots tels que « biodiversité », « nature », « végétation » ou « agriculture » ont également été sélectionnés, afin de pouvoir comparer l'utilisation de ces mots renvoyant à une logique d'écologie urbaine avec celle du mot « sol ». Enfin, pour comparer l'utilisation du mot « sol » avec celle de mots inhérents aux objectifs de la planification urbaine (*e.g.* habitat, déplacement), les mots « transport », « logement » et « économie » ont été analysés.

Les analyses lexicales ont ainsi permis de renseigner le nombre de fois où le mot « sol » apparaissait dans chaque document de planification étudié. Mais, considérant l'objectif du doctorat, il a fallu faire un travail supplémentaire d'analyse de l'utilisation de ce mot. En effet, le but était de comprendre si l'utilisation du mot « sol » renvoyait à une considération surfacique et/ou volumique. Aussi, il a été nécessaire de mettre en place un filtre afin de savoir si l'occurrence du mot « sol » renvoyait à une « surface » (considération surfacique) ou à une « ressource » (considération volumique). Pour ce faire, l'analyse lexicale de « sol » a permis de mettre à part, pour chaque document de planification analysé, l'ensemble des phrases où apparaissait le mot « sol ». Un travail supplémentaire a alors été réalisé, permettant de distinguer les occurrences appartenant à la catégorie « sol-surface » de celles appartenant à la catégorie « sol-ressource ». Par exemple, si à la lecture de la phrase, l'utilisation du mot « sol » renvoyait à une idée d'occupation du sol (*e.g.* plan d'occupation du sol, coefficient d'occupation du sol, sol construit, superficie de sols à urbaniser) alors l'occurrence de ce mot était comptabilisée dans la catégorie « sol-surface ».

Enfin, il est à noter que l'exploitation des résultats des analyses lexicales s'est faite sous la forme de traitement de données. Des analyses statistiques telles que des analyses de variance (ANOVA), des analyses en composantes principales (ACP) ou encore des analyses canoniques des correspondances (ACC) ont été réalisées grâce à RStudio et au package Ade4. Les tests sont définis comme significatifs si la p-value est inférieure à 0,05.

L'enquête nationale auprès d'acteurs de la planification territoriale

Pour compléter cette analyse lexicale, une étude de la considération du sol par les acteurs de la planification territoriale a été réalisée grâce à un examen de leurs discours. A ce titre, un sondage (Annexe 4) et une plaquette d'information (Annexe 5) ont été envoyés à différents

organismes travaillant sur la thématique des sols et présents dans les 20 plus grandes aires urbaines et les 40 plus grandes unités urbaines de France. Le sondage envoyé avait pour objectif premier de savoir si ces acteurs de la planification territoriale ont en leur possession des données issues de campagnes d'échantillonnage de sols et s'ils étaient d'accord pour transmettre ces données afin de réaliser une base de données nationale descriptive des sols urbains, nécessaire au travail de doctorat d'Aurélie Cambou, et au programme de recherche SUPRA (Sols urbains et projets d'aménagement). Un deuxième objectif, propre à ce doctorat, a été rajouté, afin de comprendre quel était le degré de considération du sol en tant que « ressource » (sol-volume) dans leur quotidien professionnel. Pour cela, des entretiens téléphoniques ont été réalisés à chaque retour positif fait par l'acteur. Les discours de chaque acteur ont ensuite été analysés puis notés, en considérant cinq critères différents : la prise de conscience de l'intérêt de la problématique, la prise de conscience de l'existence de données sur les sols urbains au sein de l'organisme, la nature de l'utilisation du sol lors de la réponse à la sollicitation (sol-surface ou sol-ressource), l'emplacement des données sur les sols urbains et la réutilisation de ces données pour influencer les stratégies d'aménagement à l'échelle du projet urbain (Figure 22). A chaque critère validé dans ses réponses (chemin vert de la Figure 22), l'acteur obtenait la note de 1. La note maximale pouvant être obtenue, correspondant alors à une considération optimale du sol en tant que ressource, était alors de 5. Il est à noter que cette mobilisation de la procédure de notation n'a pas été réalisée dans le but de classer ou distinguer les bons et les mauvais acteurs, mais dans le but de créer une typologie de considération du sol en tant que ressource, afin de comparer entre elles les différentes utilisations du sol dans les discours de la planification territoriale.

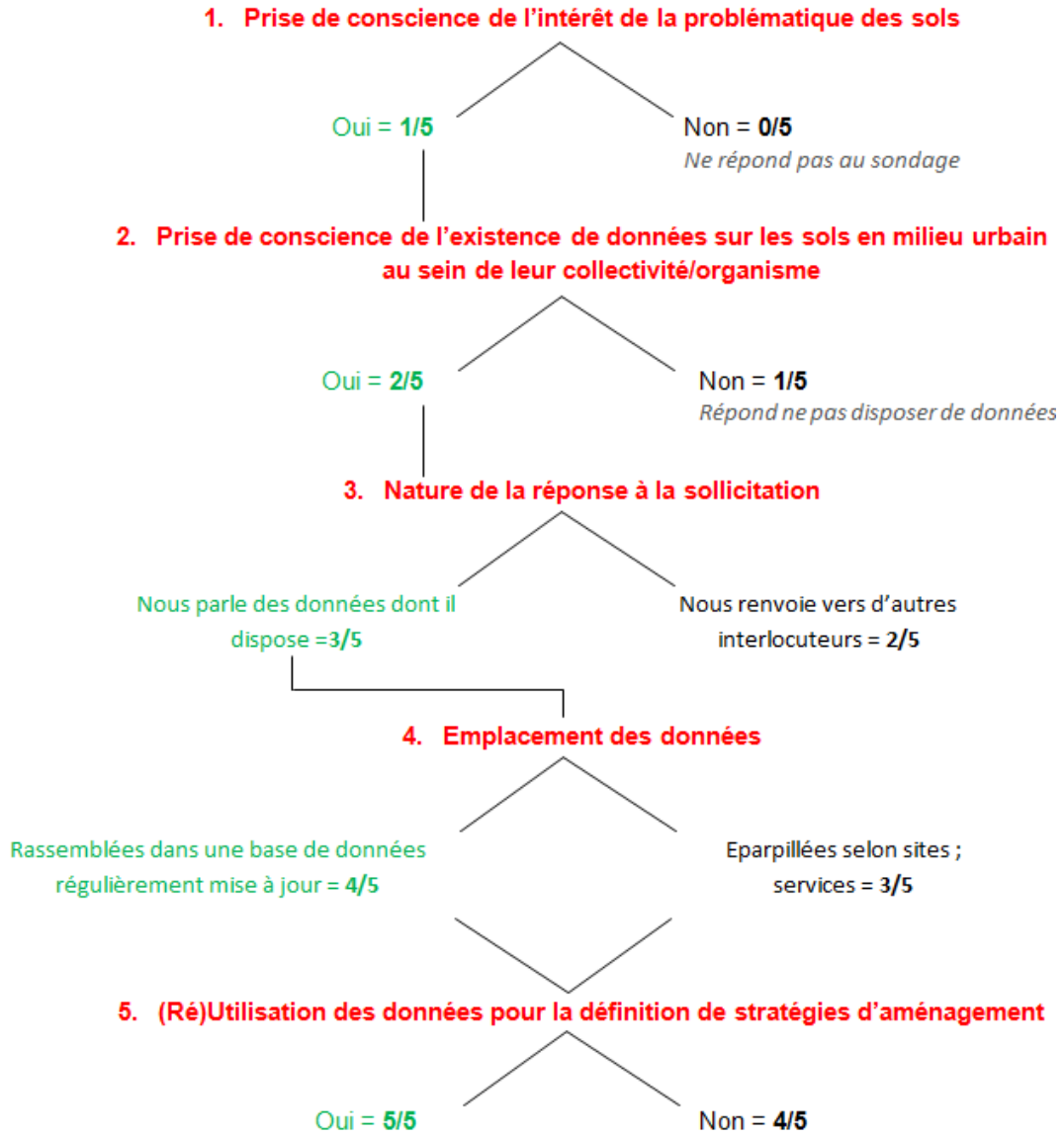


Figure 22 : Méthodologie générale d'exploitation des réponses au sondage envoyé aux acteurs de la planification et de l'urbanisme

L'exploitation des résultats

Les résultats de l'analyse lexicale et de l'enquête nationale (Chapitre III) ont été exploités sous Microsoft Excel et ont permis la production de graphiques en barre et de nuages de points pour faciliter la compréhension de ces premiers.

De plus, des phrases dites par les acteurs de la planification territoriale ou écrites dans les documents de planification ont été relevées afin d'appuyer les propos de la discussion du Chapitre III.

II.2.2. La considération des sols dans les discours des acteurs de l'urbanisme de projet

Afin de diagnostiquer les considérations du sol urbain dans la fabrique urbaine, l'analyse des représentations du sol telles qu'elles étaient énoncées dans la planification a été complétée par une étude des discours et des attentes de plusieurs acteurs de l'urbanisme opérationnel, travaillant à l'échelle du projet urbain (Figure 20). Cette analyse a été faite grâce à la tenue d'entretiens semi-directifs (Figure 23).

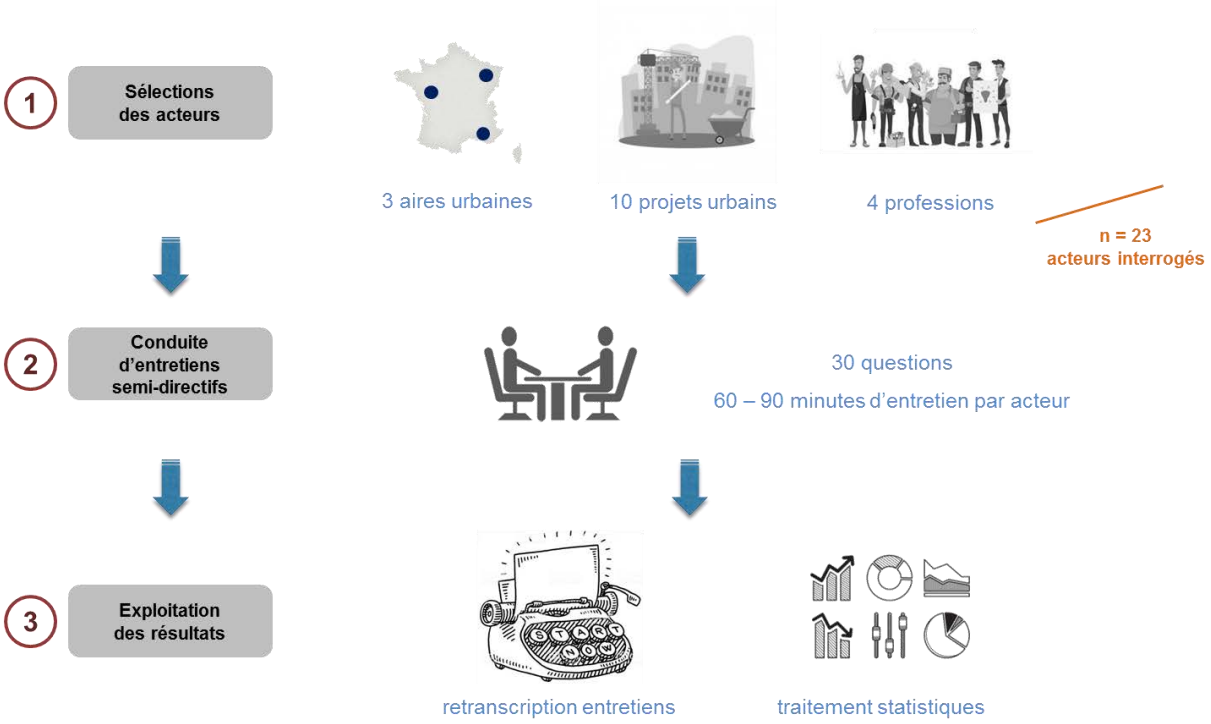


Figure 23 : Méthodologie générale de la conduite des entretiens avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel

La grille d'entretien

La grille d'entretien se composait d'une trentaine de questions, qui était pour la plupart des questions ouvertes, permettant à l'interrogé de répondre librement, avec les mots qu'il souhaitait (Annexe 6). Ces trente questions se décomposaient en quatre parties : une première partie (quatre questions) très générale, pour s'informer du métier et de l'entité de rattachement de l'interrogé ; une deuxième partie (deux questions) se focalisant sur une définition du mot « sol », une troisième partie (environ seize questions) se concentrant sur la considération du sol urbain en tant que ressource apportée par chaque interrogé dans son travail quotidien ; puis une dernière partie (huit questions) se focalisant sur le développement de l'outil d'aide à la décision. A noter que les questions de la troisième partie étaient adaptées en fonction de la profession de l'interrogé (*e.g.* maîtrise d'œuvre,

maîtrise d'ouvrage, aménageur, chef de chantier), mais que les thématiques abordées étaient les mêmes pour tous les acteurs interrogés.

L'exploitation des résultats

Les enregistrements des entretiens ont été intégralement retranscrits en vue de leur exploitation (Annexe 7). Ensuite, deux méthodes d'exploitation des résultats se sont distinguées.

La première a consisté à attribuer une note de considération du sol urbain en tant que ressource pour l'ensemble des acteurs interrogés. Pour ce faire, les questions de l'entretien et *de facto* les réponses, ont été classées en thématiques. Au total, 12 thématiques ont été définies (Annexe 8). Ensuite, une note de considération du sol urbain en tant que ressource a été attribuée à chacune des thématiques considérées, en fonction de la réponse faite par l'acteur interrogé. Ce système de notation variait de 0 (absence totale de considération du sol) à 5 (considération du sol en tant que ressource). Là encore, cette mobilisation du système de notation a permis de créer une typologie de considération des sols urbains par les acteurs de l'urbanisme opérationnel, et n'a pas été réalisée dans le but de porter un jugement de valeur sur les réponses qu'ils ont apportées. A partir de là, une analyse statistique a été faite grâce au logiciel RStudio, afin de connaitre l'influence du type de projet ou bien du métier de l'acteur sur la considération du sol (Chapitre III).

La deuxième méthode a consisté, sur la base de deux questions posées aux interrogés, à représenter sous la forme de diagramme en radar, les services rendus par le sol en milieu urbain considérés comme prioritaires pour un projet d'aménagement par les acteurs interrogés (Chapitre III).

Pour ce travail d'entretiens également, des phrases dites par les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont été relevées afin d'appuyer les propos de la discussion du Chapitre III de ce manuscrit.

II.2.3. L'échantillonnage et la caractérisation des propriétés des sols en milieu urbain

Pour répondre aux objectifs du doctorat, des méthodes employées à la pédologie « classique » ont été utilisées et adaptées au milieu urbain. Ainsi, une campagne de description, d'échantillonnage et de caractérisation des propriétés physico-chimiques de plusieurs sols urbains a été menée entre septembre 2016 et janvier 2018 sur les dix chantiers de projets urbains considérés (Figure 20). Au total, il s'est agi d'ouvrir, de décrire et d'échantillonner

37 fosses pédologiques, soit 96 horizons de sol (Figure 24). Les photographies de ces fosses pédologiques sont présentées en Annexe de ce manuscrit (Annexe 9).

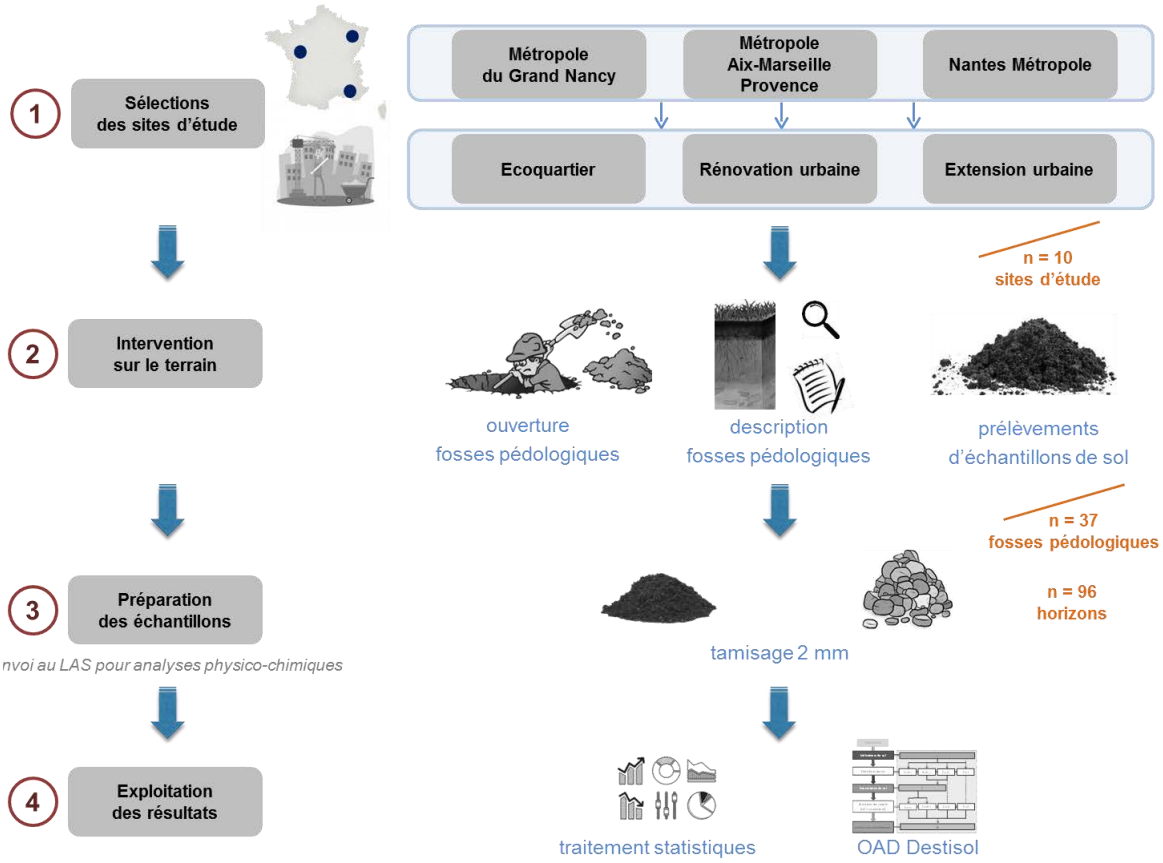


Figure 24 : Méthodologie générale des campagnes de description et d'échantillonnage des sols urbains

La description de profils de sol et l'échantillonnage de sols urbains

Des fosses pédologiques ont été creusées sur les dix sites d'étude à l'aide d'une pelle mécanique (Figure 25). La dimension de ces fosses était de trois mètres de longueur, deux mètres de largeur et d'une profondeur de 80 centimètres à deux mètres. Chaque fosse était rafraichie à l'aide d'outils à main afin d'obtenir une surface verticale sub-plane faisant apparaitre tous les éléments constitutifs de chaque horizon, en vue d'en faciliter la description.

Figure 25 : Ouverture d'une fosse pédologique et observation du profil de sol

Chaque profil de sol a été décrit à l'aide d'une fiche de description mise au point à partir des tables DONESOL (INRA, 2001) et adaptée au contexte des sols urbains (Annexe 10). Les éléments renseignés sur la fiche descriptive concernaient à la fois :

- les conditions climatiques qui régnaient lors de la campagne de description ;
- les caractéristiques de la zone d'étude (*e.g.* pourcentage d'imperméabilisation et de couverture végétale) ;
- les propriétés morphologiques du profil de sol en lui-même (*e.g.* structure, texture, activité biologique).

Il est à noter que les éléments morphologiques du sol ont été renseignés en donnant une valeur décrite (*e.g.* pourcentage d'éléments grossiers, texture, structure) ou bien en étant notés selon une échelle de notation allant de 0 à 4 (*e.g.* activité biologique, compacité). Ces valeurs, décrites ou notées, étaient données à dire d'experts.

Pour chaque fosse pédologique ouverte, des profils racinaires ont été réalisés à l'aide d'une grille quadrillée de maille 2x2 cm (Sauvage, 2006). Au niveau de chaque maille, la présence ou l'absence de racines a été relevée jusqu'à atteindre la profondeur maximale d'enracinement. Les résultats ont ensuite été consignés dans une grille informatique sur laquelle les mailles colorées traduisaient la présence de racines. Une densité racinaire a été calculée en rapportant la surface occupée par des racines à la surface totale du profil sur une profondeur donnée.

Pour chaque horizon, un cylindre de 251 cm^3 a été prélevé et ramené au laboratoire pour mesure de la masse après séchage à 105°C pendant 24h, afin de déterminer la masse volumique apparente selon la norme NF X 31-511.

Un prélèvement moyen par horizon a été réalisé à la pelle à main en prélevant sur toute la surface de la couche identifiée. Deux échantillons moyens représentatifs ont ensuite été constitués pour analyse en laboratoire.

La préparation des échantillons et les descriptions des sols en laboratoire

Les échantillons ont été séchés à l'air. Ils ont ensuite été tamisés à 2 mm pour séparer les fractions fine et grossière du sol qui ont toutes été pesées (Figure 26).

Figure 26 : Séparation de la fraction fine (gauche) et grossière (droite) d'un échantillon de sol

La fraction grossière a été séparée en fonction de l'origine de ses constituants en distinguant les éléments d'origine naturelle (*e.g.* roche, galets, fragments végétaux) de ceux d'origine anthropique (*e.g.* céramique, brique, béton). Chacune de ces fractions a été pesée et photographiée pour chacun des échantillons.

Les analyses des propriétés physiques et chimiques des sols urbains

Un échantillon représentatif de la fraction fine a été prélevé par quartage (environ 600 g) et envoyé au Laboratoire d'Analyse des Sols (Inra, Arras) pour analyse. Les mesures des paramètres chimiques faites pour les échantillons de sols étudiés correspondaient à la détermination de la capacité d'échange cationique (CEC) ou encore des teneurs en Carbone (C), Azote (N), pH, Calcaire ($CaCO_3$), Phosphore (P_{Olsen}), en éléments majeurs (*e.g.* Calcium (Ca), Potassium (K), Magnésium (Mg), Manganèse (Mn), Sodium (Na)) et en éléments traces (*e.g.* Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Plomb (Pb), Aluminium (Al), Fer (Fe)). Enfin, une analyse granulométrique a été conduite. L'ensemble de la liste des paramètres physico-chimiques évalués et les protocoles et normes utilisés pour le faire sont renseignés en annexe (Annexe 11).

L'exploitation des résultats

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols urbains ont été interprétés grâce à RStudio, en utilisant les outils boîtes à moustache (box-plot) et corrélogrames (Chapitre IV).

Une fiche synthétique regroupant les résultats des analyses de sols a été réalisée pour chaque site de projet urbain étudié. Un exemple d'une telle fiche est présenté en annexe (Annexe 12)

II.2.4. L'évaluation des services rendus par les sols en milieu urbain

Afin de répondre aux objectifs du doctorat, il a été nécessaire de traduire les indicateurs d'état des sols des dix sites d'étude en services écosystémiques (Figure 20). Pour ce faire, les résultats des campagnes de description et d'analyses bio-physico-chimiques des sols ont été utilisés pour implémenter un outil d'aide à la décision développé dans le cadre du projet de recherche Destisol (Figure 27).

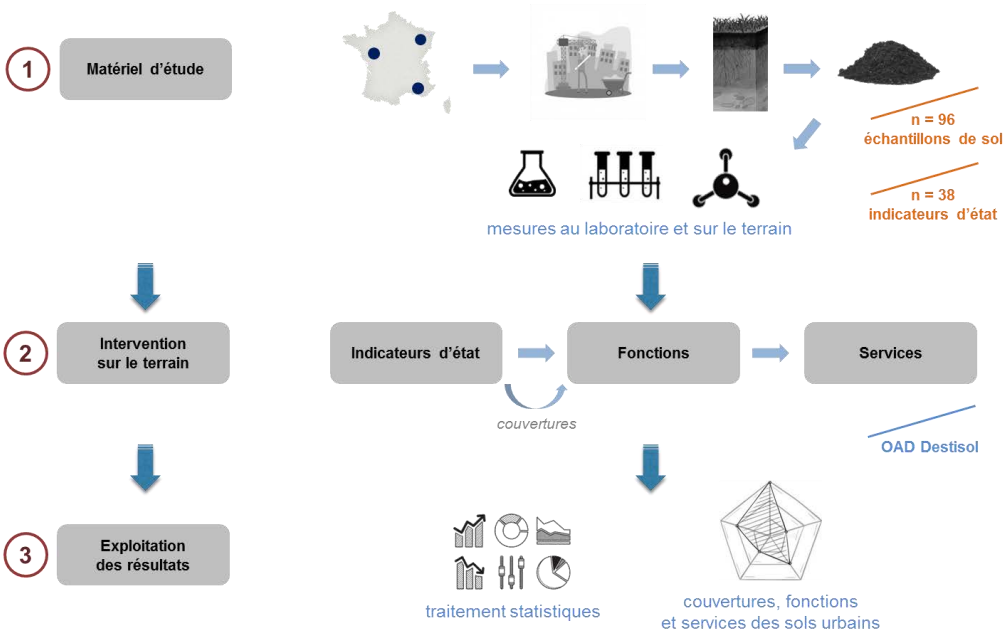


Figure 27 : Méthodologie générale d'évaluation des potentialités des sols urbains

La définition des zonages de sols supposés homogènes

Afin d'être en mesure, lors de l'intervention sur un site de projet urbain, d'échantillonner des sols qui soient représentatifs des sols en place, la démarche initiale à toute intervention sur site a été la définition de zones de sols supposés homogènes, comme cela est préconisée par l'outil Destisol. Les zones de sols supposés homogènes sont définies grâce à une analyse documentaire et une visite préalable de terrain avec la réalisation de sondages à la tarière. A cet instant, une carte des sols en trois dimensions est proposée. Cette carte permet de définir la localisation des fosses pédologiques. La démarche de Destisol préconise l'ouverture d'au moins trois fosses pédologiques par zone de sols supposés homogènes. Pour ce travail, cette démarche a été adaptée à l'ouverture d'une fosse pédologique par zone. L'ouverture des fosses pédologiques sur site permet *in fine* de confirmer ou de modifier le zonage initial. Trois exemples de mise en œuvre de cette démarche sont présentés ci-dessous, en considérant un site de projet urbain pour chacune des trois aires urbaines (MGN, MAMP et NM).

❖ *Le cas de l'écoquartier Biancamaria (MGN)*

La ZAC de l'écoquartier Biancamaria (MGN) est située sur la commune de Vandœuvre-lès-Nancy, au sein du département de Meurthe-et-Moselle, dans la région Grand-Est. Cette ancienne friche urbaine s'étend sur une emprise de 9,6 hectares. Les objectifs de programmation de ce projet urbain sont liés au développement d'un quartier socialement accessible, organisé autour d'un parc infiltré et respectant à la fois des enjeux économiques, équitables et environnementaux (Figure 28). L'intervention sur site, rendue possible grâce à l'accord de la société d'aménagement SOLOREM, a été réalisée sur un périmètre d'étude de 3,7 hectares au sein de la ZAC (Figure 28).

Figure 28 : Plan masse de l'îlot C de l'écoquartier Biancamaria et localisation du périmètre d'intervention dans le cadre du doctorat (rouge), *Ville de Vandœuvre-lès-Nancy*

Une étude documentaire préalable a été conduite. Vandœuvre-lès-Nancy se situe sous un climat de type océanique dégradé à influence continentale assez marquée. Le contexte géologique du site d'étude est marqué par la présence à l'affleurement d'alluvions anciennes des basses terrasses de la Meurthe qui surmontent une formation marno-sableuse du Toarcien (Figure 29). Le site se localise sur une unité aquifère et se situe sur la nappe du Plateau Lorrain versant Rhin, nappe libre de formation sédimentaire à sensibilité faible (non affleurante) (Figure 29). Les profils altimétriques indiquent un terrain avec deux grandes zones plates (l'une au Nord, l'autre au Sud) se différenciant par une faible différence d'altitude (deux mètres). D'Ouest en Est, cette perte d'altitude s'élève à dix mètres. Concernant la présence d'activités polluantes aux abords du site, les bases de données Basol et Basias indiquent l'existence de deux anciens garages à voiture et de quelques sites industriels autour de la zone d'étude. Un dépôt de fioul domestique est localisé sur le site de l'écoquartier, mais est hors activité depuis le début des années 2000. Le périmètre d'intervention n'est concerné par aucune occupation du sol polluante. Enfin, concernant les anciennes occupations du site, les photographies historiques permettent de comprendre que la zone d'étude se situe sur un ancien terrain militaire, comme en témoigne la présence des casernes Faron et Drouot au Nord du site (Figure 30). Ces casernes, construites en 1946, sont encore présentes aujourd'hui. L'occupation des sols du Sud du site d'étude alterne entre des terres agricoles cultivées dans les années 1940, puis des écuries dans les années 1970. Ces dernières sont détruites au début des années 2000 et laissent place à un terrain en friche où des végétaux se développent.

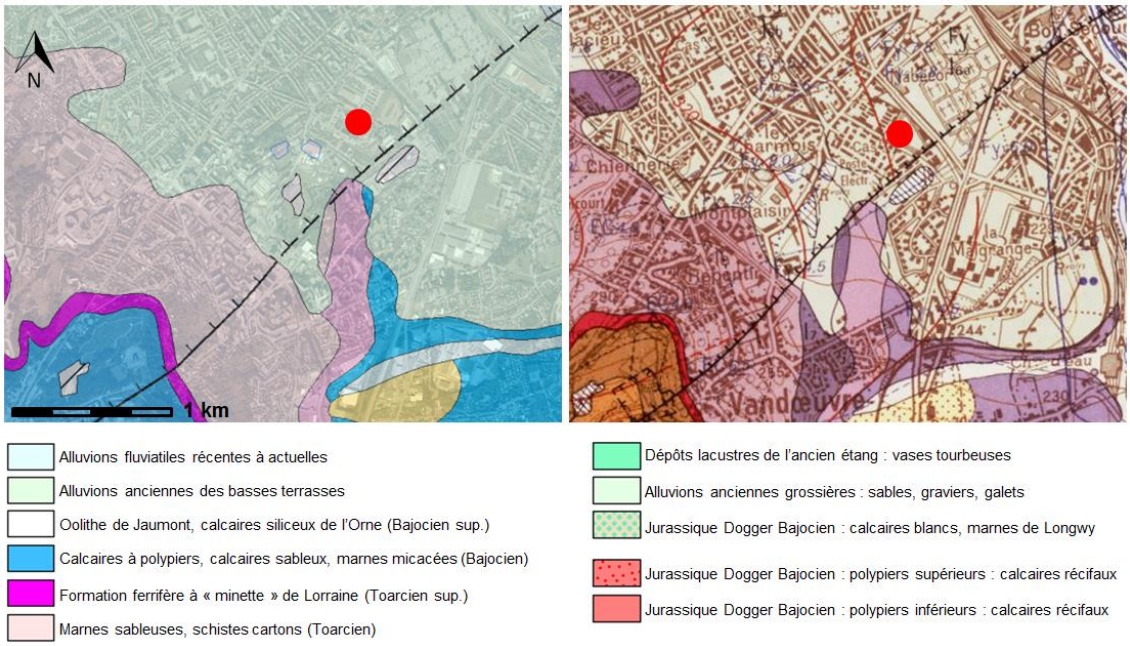


Figure 29 : Cartes géologique et hydrogéologique du site d'intervention, *Infoterre BRGM*

Figure 30 : Evolution historique des occupations de sols du site d'étude entre 1956 (gauche) et 2002 (droite), *Géoportail*

Les éléments de connaissance présentés précédemment indiquent que la zone d'étude est globalement homogène d'un point de vue géologique, hydrogéologique et hydrologique. Ainsi, le zonage de sols homogènes s'est principalement basé sur les différences de successions d'usages dans le temps et les différentes couvertures de sol présentes sur site au moment de l'intervention. Ces éléments ont également été croisés avec les usages prévus par le projet d'écoquartier. Cela a conduit à découper le périmètre d'intervention en cinq zones de sols *a priori* homogènes (Figure 31). La zone 1 se caractérise par une occupation de sol de type couvert végétal - herbacées, avec des cheminements piétons. Quatre sous-zones sont délimitées au sein de cette même zone : la zone 1a, correspondant à un espace enherbé proche des casernes ; la zone 1b est également occupée par un espace enherbé et se situe en extrémité

du site, proche des habitations adjacentes ; la zone 1c correspond à l'aménagement de futurs jardins partagés et la zone 1d se matérialise par la présence de cheminements piétons et d'une absence de couvert végétal. La zone 2 se caractérise par la présence d'arbres de grande hauteur sur un terrain en pente. La zone 3 se caractérise par un espace qui sert de stockage de déblais durant le temps de l'aménagement du site. La zone 4 correspond à des cheminements piétons et des sols « nus », sans couvert végétal. Enfin, la zone 5 se caractérise par une occupation de sol de types cheminements piétons et bandes enherbées entourant des habitations déjà existantes. Ce découpage oriente l'ouverture de 5 fosses pédologiques : 2 au sein de la zone 1, 1 pour la zone 2, 1 pour la zone 3 et 1 pour la zone 4.

Figure 31 : Zonage des sols homogènes du site d'étude
et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*

❖ *L'exemple du site en extension urbaine de Sainte Marthe (MAMP)*

La ZAC des Hauts de Sainte-Marthe (MAMP) est située dans le 14ème arrondissement de Marseille, au sein du département des Bouches-du-Rhône, dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Le projet d'extension urbaine se développe sur un périmètre de 150 hectares. Ce nouveau quartier à vocation résidentielle a pour objectif de construire plus de mille logements neufs. Il s'inscrit dans un projet de construction sur terres agricoles, au sein d'un territoire encore faiblement urbanisé, caractérisé par une grande qualité patrimoniale et paysagère (Figure 32). L'intervention sur site, rendue possible grâce à l'accord

de la Métropole d'Aix-Marseille Provence, a été réalisée sur un périmètre d'étude de 0,2 hectares au sein de la ZAC (Figure 32).

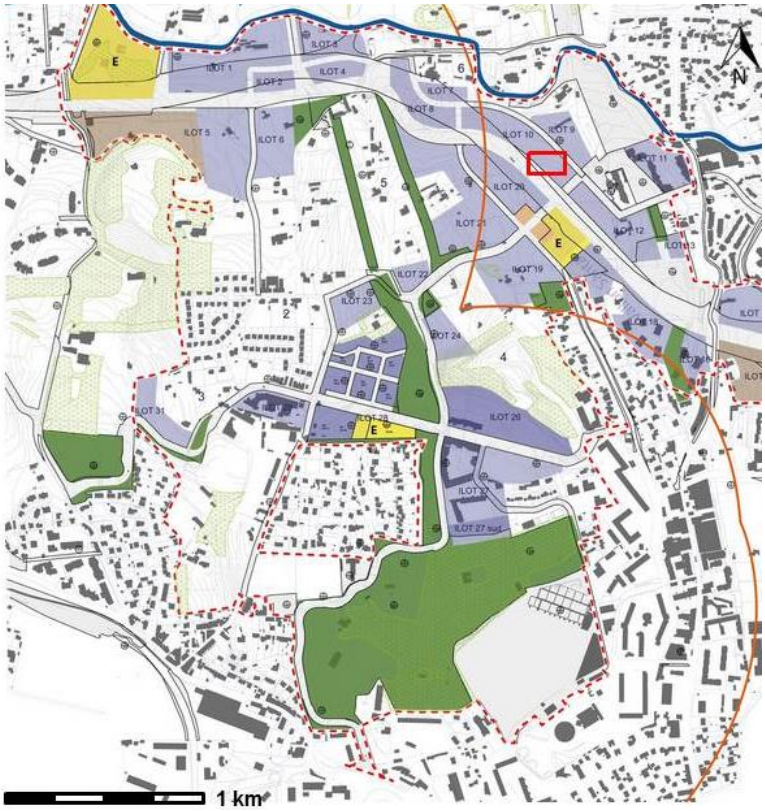


Figure 32 : Plan guide de la ZAC Sainte-Marthe et localisation du périmètre d'intervention (rouge), *Aix-Marseille Métropole*

Sainte-Marthe se situe sous un climat méditerranéen chaud avec été sec. Le site repose sur des dépôts d'alluvions et de colluvions de fond de vallon post-würñliennes (Figure 33). Ces alluvions et colluvions sont à dominante argileuse avec intercalations sablo-graveleuses lenticulaires. Les marnes sous-jacentes, qui affleurent à certains endroits sur le site, contiennent des intercalations gréseuses, voire détritiques (poudingues). Il ne semble pas y avoir, au niveau du périmètre d'étude, de nappe aquifère réellement constituée et continue, mais une juxtaposition de lentilles plus ou moins sableuses imprégnées d'eau, relativement indépendantes les unes des autres. Les profils altimétriques indiquent que le site d'étude présente un relief globalement plat, culminant en moyenne à 126 mètres, avec des points plus hauts aux abords du site. Les bases de données Basias et Basol n'indiquent la présence d'aucun site industriel ni site et sol pollué à proximité ou dans l'enceinte du site d'étude. Enfin, la parcelle d'intervention a fait l'objet, depuis au moins 1957, d'une exploitation agricole continue plus ou moins intensive dominée récemment par la prairie de fauche (Figure 34). Lors de l'intervention, la zone d'étude se caractérise par une occupation de sol hétérogène (Figure 35). Sur la partie Nord-Est du terrain d'étude se sont développés des Cannes

de Provence (Arundo Donax L.). Les sols du côté Ouest se caractérisent par une occupation de type herbacé, avec présence de quelques arbres. Le côté Ouest du site est longé par un ru. Le reste du périmètre de la zone d'intervention se matérialise par un couvert végétal de type herbacé.

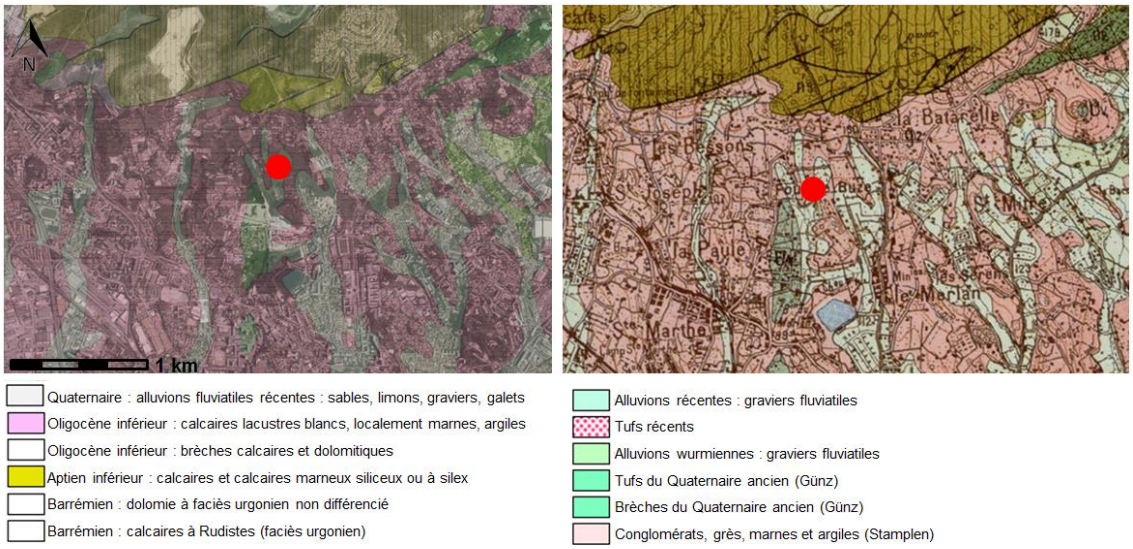


Figure 33 : Cartes géologique et hydrogéologique du site d'intervention (point rouge), *Infoterre BRGM*

Figure 34 : Evolution historique des occupations de sols du site d'étude (flèche rouge) entre 1957 (gauche) et 2008 (droite), *Géoportail*

Les éléments de connaissance acquis au cours de la recherche documentaire conjugués aux occupations de sols actuelles et précédentes permettent de distinguer sur le site d'intervention trois zones de sols jugées homogènes (Figure 35). La zone 1 se caractérise par une géologie homogène, constituée essentiellement de marnes, ainsi que par une occupation

du sol marquée par la présence de Cannes de Provence. La zone 2 est définie par une géologie de transition entre matériaux marneux et colluvions de fond de vallon post-würñliennes. L'occupation du sol est homogène, caractérisée essentiellement par la présence d'herbacées. Enfin, la zone 3 se caractérise par une géologie présentant essentiellement des colluvions de fond de vallon post-würñliennes, ainsi que par une occupation du sol homogène constituée d'herbacées et d'arbres. Elle se distingue de la zone 2 par sa proximité à la route et au ru. Ce découpage donne lieu à l'ouverture d'une fosse pédologique par zone de sol homogène. Trois profils pédologiques sont ainsi décrits et échantillonnés sur ce site d'étude.

Figure 35 : Zonage des sols homogènes du site d'étude et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*

- *Le cas d'étude de La Boissière (NM)*

Le site de La Boissière (NM) se situe au Nord de Nantes. Il fait partie du projet de requalification urbain de Nantes-Nord, quartier « mosaïque » mixte, où vivent 12 000 habitants, constitué de près de 68% de logements locatifs sociaux (Figure 36). L'intervention sur site, rendue possible grâce à l'accord de Nantes Métropole, a été réalisée sur un périmètre d'étude de 3,2 hectares au sein de la ZAC (Figure 36).

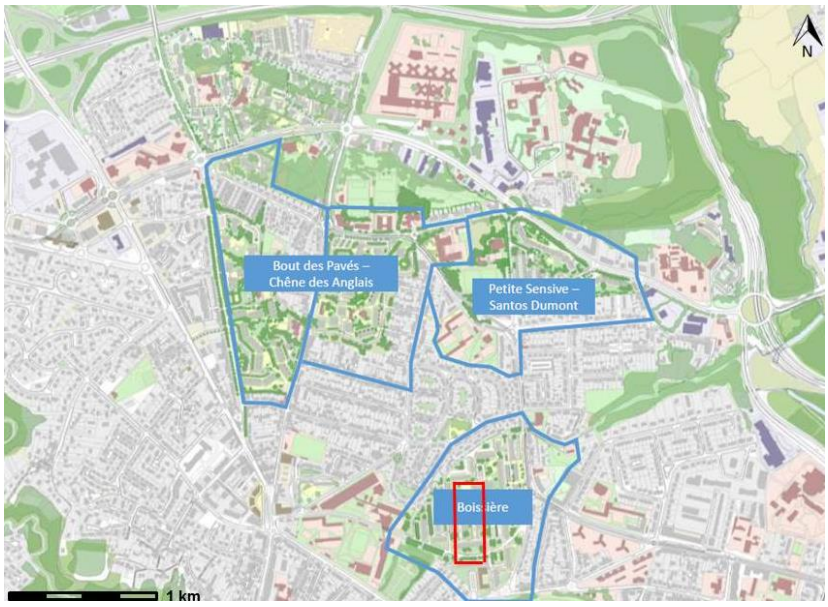


Figure 36 : Plan guide du projet de requalification de Nantes-Nord et localisation du périmètre d'intervention dans le cadre du doctorat (rouge), *Nantes Métropole*

Nantes se situe sous un climat tempéré océanique. Le site repose sur des altérites argileuses indifférenciées datant du Paléocène qui surplombent des micaschistes albitiques à biotite et muscovite (Figure 37). Il s'agit d'une unité semi-perméable sans aquifère à proximité. Les profils altimétriques indiquent que le site d'étude se caractérise par un gain d'altitude de trois mètres entre le point Nord et le point Sud. D'Ouest en Est, la zone d'étude présente une perte d'altitude équivalente à deux mètres. Les bases de données Basias et Basol indiquent la présence d'une station-service toujours en activité et d'une ancienne zone de dépôt d'essence à l'Est du quartier de La Boissière (NM). Enfin, l'historique d'occupation des sols renseigne sur le fait que les premiers bâtiments résidentiels s'érigent sur des sols au préalable agricoles, dès le début des années 1960 (Figure 38).

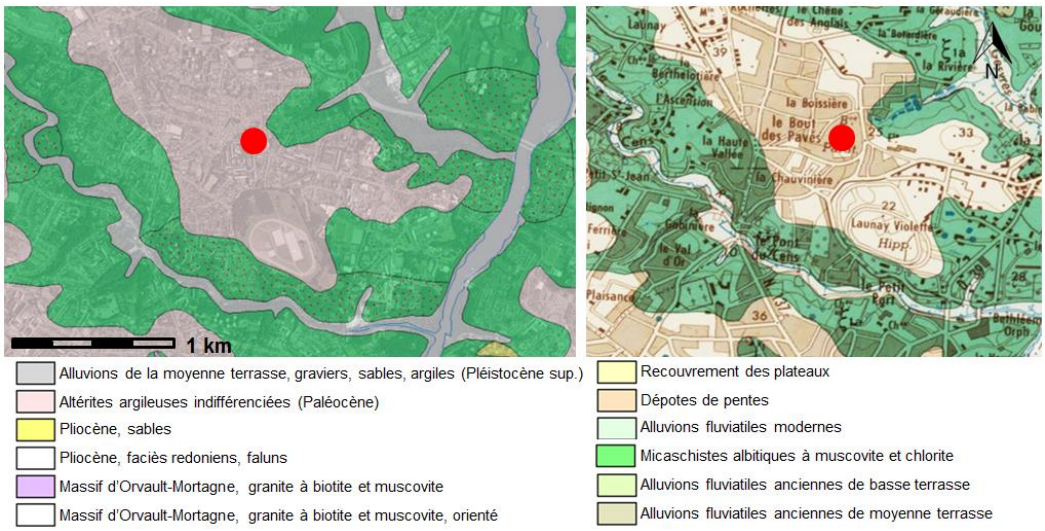


Figure 37 : Cartes géologique et hydrogéologique du site d'intervention, *Infoterre BRGM*

Figure 38 : Evolution historique des occupations de sols du site d'étude entre 1954 (gauche) et 1964 (droite), *Géoportail*

Lors de l'intervention, les abords de la zone d'étude sont occupés par des bâtiments résidentiels situés au sein d'espaces verts gérés (couvert herbacé). Cinq zones sont distinguées sur ce périmètre d'intervention (Figure 39). La zone 1 correspond à une occupation de sol de type végétation herbacée, avec présence d'arbres. La zone 2 se matérialise par la présence d'espaces verts et d'une fontaine. La zone 3 est définie par des sols occupés par un couvert végétal de type herbacé et arboré. Trois sous-zones y sont différenciées. La sous-zone 3a correspond à la présence d'herbacés et d'un arbre de grande hauteur et se trouve à proximité de la zone érigée sur des micaschistes albitiques ; la sous-zone 3b se trouve également à proximité de ce contexte géologique mais se caractérise par un couvert végétal de type herbacé, avec la présence de jardins partagés installés hors-sol ; la zone 3c se caractérise par un couvert végétal de type herbacé et par quelques arbres. Enfin, la zone 4 est définie par des cheminements goudronnés, des parkings et des espaces verts et la zone 5 correspond à la surface bétonnée servant de parking pour les usagers, au Sud du site. Ce découpage donne lieu à l'ouverture de trois fosses pédologiques représentatives des zones 1, 3a et 3b.

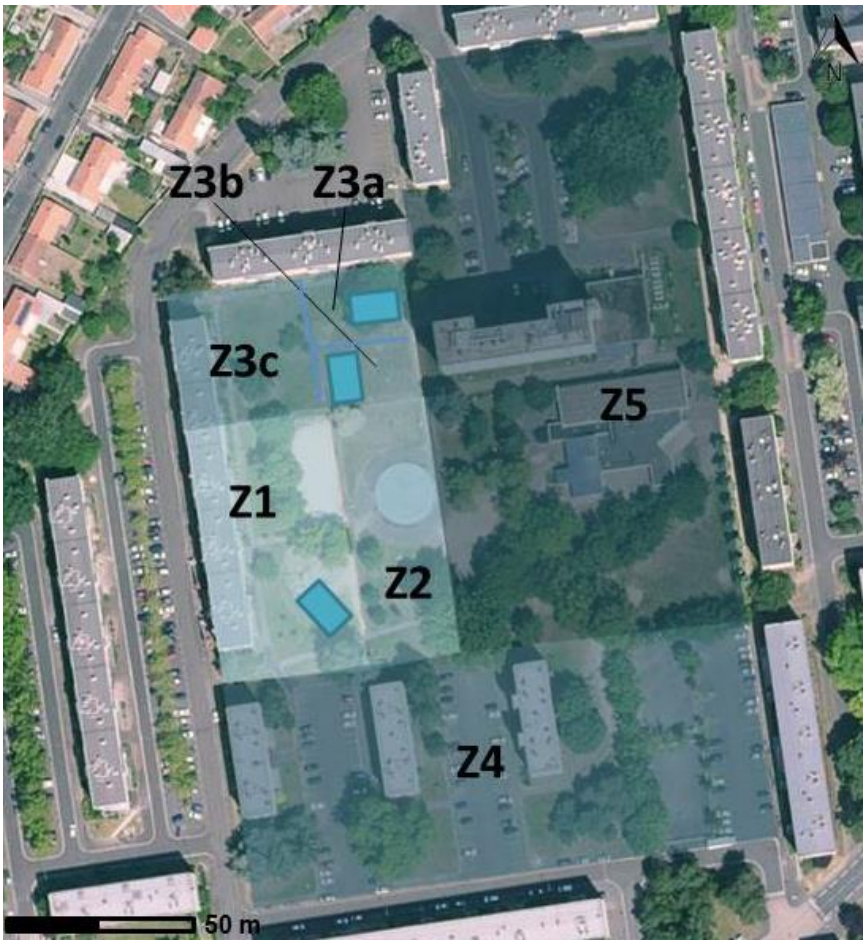


Figure 39 : Zonage des sols homogènes du site d'étude et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*

- *La définition des zonages de sols homogènes des 7 autres sites d'intervention et les nombres de sondages pédologiques réalisés*

Les recherches documentaires effectuées sur les sept autres sites d'étude ainsi que la prise de connaissance de l'occupation des sols lors des interventions ont permis de définir pour chaque site, un zonage de sols homogènes induisant la localisation des fosses pédologiques (Tableau 13). Entre trois et cinq fosses pédologiques ont été ouvertes par site (Annexe 13).

Tableau 13 : Nombre de zones de sols homogènes et de fosses pédologiques par site d'intervention

Site	Nombre de zones	Nombre de fosses pédologiques
MGN-PH	2	4
MGN-HC	2	5
MGN-MJC	4	4
MAMP-E	2	3
MAMP-PA	4	3
NM-LJ	3	4
NM-CM	1	3

L'utilisation de l'outil d'aide à la décision Destisol

L'objectif de l'outil Destisol est de traduire, par une évaluation semi-quantitative, les indicateurs d'état des sols urbains, évalués sur le terrain et en laboratoire, en niveau de fonctions (16 fonctions sont considérées dans Destisol) et de services écosystémiques (18 services écosystémiques sont considérés dans Destisol). L'originalité de l'outil, s'adaptant au milieu urbain, est de considérer dans cette évaluation un paramètre supplémentaire qu'est la couverture du sol (9 couvertures de sol sont considérées dans Destisol). Cet outil se constitue de différentes étapes nécessaires à l'évaluation semi-quantitative des services écosystémiques (Figure 40). La définition de chaque service écosystémique considéré par l'outil est donnée en annexe (Annexe 14).

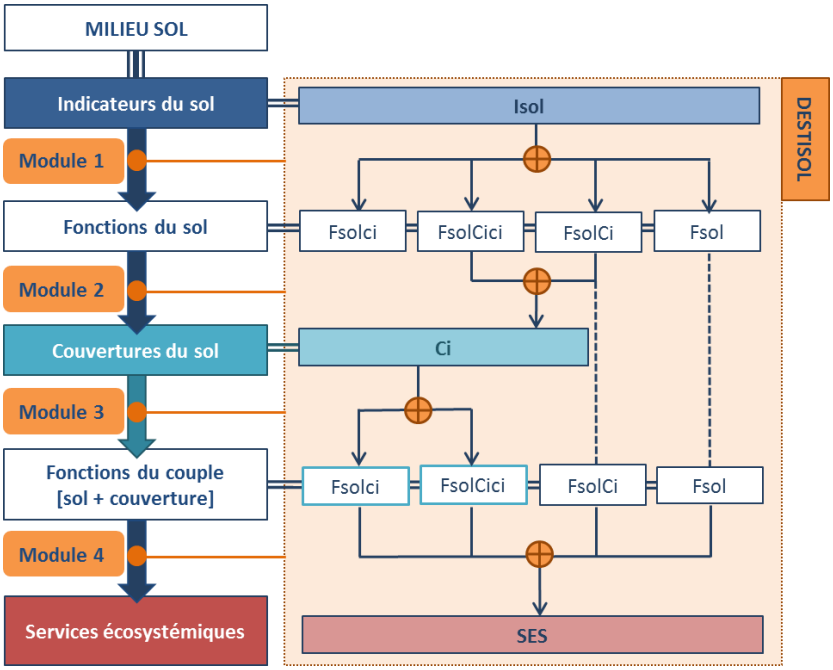


Figure 40 : Schéma de Destisol : évaluation semi-quantitative des services écosystémiques, *Destisol, n.d.*

❖ *Module 1 : liens indicateurs du sol – fonctions du sol*

Le module 1 estime les fonctions remplies par le sol à partir des indicateurs du sol, indépendamment de la couverture du sol en place (Figure 41). Les données d'entrée sont donc les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons de sol, et les données de sorties sont les notes des fonctions. Pour calculer une fonction, telle que par exemple la fonction « circulation et infiltration de l'eau », l'outil procède à une sélection des indicateurs nécessaires à l'évaluation de la fonction, puis à une sélection du ou des horizons de sol à considérer. Ensuite, chaque indicateur est noté en fonction de son appartenance à une classe. Par exemple, dans le cas de la fonction « circulation et infiltration de l'eau », si la texture du sol est argileuse, alors l'indicateur « texture » obtient la note de 0, si elle est sableuse, alors l'indicateur obtiendra la note de 3 (Figure 41). L'outil

procède ensuite à une moyenne de l'ensemble des notes des indicateurs, afin d'obtenir la note finale de la fonction (dans cet exemple, la note de la fonction est 2). A savoir que les indicateurs sont répartis en « facteur déclassant » ou non. C'est-à-dire que si un indicateur est classé en « facteur déclassant », alors il doit forcément obtenir une note différente de 0 pour que la fonction puisse effectivement être exprimée par le sol. Si ce n'est pas le cas, alors la fonction obtient obligatoirement la note de 0. Dans cet exemple, la structure du sol est un facteur déclassant : pour que le sol puisse effectivement infiltrer l'eau, alors il ne doit pas présenté une structure de type « compacte ».

Circulation et infiltration de l'eau														
Indicateurs	Unité	Gammes de valeurs				Hz 1	Hz 2	Hz 3	Hz 4	Hz 5	Valeur indicateur	Note indicateur	Facteur déclassant	Note fonction
		Note	Règle	Borne Inf	Borne Sup									
pente	%	0	>	40							0	3,00	Non	2,00
		1	entre	5	40									
		2	entre	2	5									
		3	<		2									
profondeur du sol	cm	0	<		19						27	1,00	Non	
		1	entre	20	39									
		2	entre	40										
		3	>	80										
structure	description	0	=	compacte/fondue		polyédrique grossière					moyenne pondérée	2,00	Oui	
		1	=	particulaire										
		2	ou	prismatique/anguleuse	polyédrique grossière									
		3	ou	polyédrique fine	grumeleuse									
texture	classe texturale	0	=	argileuse		limoneuse					moyenne pondérée	1,00	Non	
		1	=	limoneuse										
		2	=	équilibrée										
		3	=	sableuse										
compacité	description	0	=	imperméable		moyenne					moyenne pondérée	2,00	Non	
		1	=	forte										
		2	=	moyenne										
		3	=	faible										
% éléments grossiers	%	0	<		5	29,87					moyenne pondérée	2,00	Non	
		1	entre	5	15									
		2	entre	16	35									
		3	>	36										
hydromorphie	description	0	ou	rédoxique > 50%	gley/saturé en eau	absence					moyenne pondérée	3,00	Oui	
		1	=	20% < rédoxique < 50%										
		2	=	5% < rédoxique < 20%										
		3	ou	rédoxique < 5%	absence									

Figure 41 : Module 1 de l'outil Destisol : liens indicateurs – fonctions.
Exemple du calcul de la fonction « circulation et infiltration de l'eau »

❖ *Module 2 : liens fonctions du sol – couvertures du sol*

Le module 2 permet de sélectionner les couvertures du sol compatibles avec les fonctions du sol estimées au module 1 (Figure 42). Les données d'entrée sont donc les notes des fonctions issues du module 1 et les données de sortie les couvertures compatibles. Il s'agit des couvertures que le sol peut supporter en l'état, sans modification anthropique de ses caractéristiques intrinsèques. A savoir que seules les couvertures sélectionnées sont admises dans les modules suivants. Pour savoir si une couverture est admise par le sol en l'état, les fonctions exprimées par le sol doivent obtenir des notes supérieures à des seuils déterminés à partir de l'état de l'art et de dires d'experts. Par exemple, pour la couverture « non scellée, non bâti, pelouse et prairie urbaines », la fonction « fertilité physico-chimique (végétation herbacée) » doit au minimum

admettre la note de 2 (Figure 42) pour que le sol puisse en l'état accueillir cette couverture. L'outil procède ainsi à une comparaison des notes effectivement prises par les fonctions du sol évalué et des seuils, puis en faisant une moyenne est capable d'exprimer le pourcentage de compatibilité du sol en l'état avec l'accueil d'une couverture. Seules les couvertures avec un pourcentage de compatibilité de 100% sont considérées par la suite.

			Couvertures du sol								
			Sol scellé (imperméabilisé > 90 %)		Sol semi-scellé (50 % < imperméabilisé < 90		Sol non scellé (imperméabilisé < 50 %)				
			Bâti	Voies de circulation	Voies de circulation	Voies de circulation	Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti
Fonctions du sol		Notes Mod 1	Sans végétation	Sans végétation	Sans végétation	Pelouse et prairie urbaines	Sans végétation	Pelouse et prairie urbaines	Jardin potager / ornemental	Arbustes	Arbres
Fonctionnement interne	Recyclage de la M.O. et des nutriments	1,90	0	0	0	2	0	2	2	2	2
	Protection contre l'érosion	1,50	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Carbone	Stockage de carbone	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilité	Fertilité physico-chimique (végétation herbacée)	1,83	0	0	0	2	0	2	0	0	0
	Fertilité physico-chimique (végétation potagère)	1,83	0	0	0	0	0	0	2	0	0
	Fertilité physico-chimique (végétation arbustive)	1,50	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	Fertilité physico-chimique (végétation arborée)	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Eau	Circulation et infiltration de l'eau	2,00	0	0	2	2	0	1	1	1	1
	Rétention de l'eau	1,50	0	0	0	2	0	1	1	2	2
Pollutions	Niveau de contamination par des polluants	3,00	0	0	0	1	0	1	3	1	1
	Rétention physique des polluants	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dégradation des CTO	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activités humaines	Support de voirie légère	2,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Support de voirie lourde	2,43	0	3	2	2	0	0	0	0	0
	Support de bâtiment en fondations superficielles	2,38	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Support de réseau divers	2,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Couverture possible ?			20%	50%	100%	70%	100%	80%	70%	60%	50%

Figure 42 : Module 2 de l'outil Destisol : liens fonctions – couvertures

❖ *Module 3 : réévaluation des fonctions du couple [sol-couverture]*

Le module 3 ajuste les notes attribuées à certaines fonctions du sol (dépendantes de la couverture du sol) évaluées par le module 1, en intégrant chaque couverture sélectionnée au module 2 (Figure 43). Les données d'entrée sont donc les notes des fonctions issues du module 1 et les couvertures sélectionnées à l'issue du module 2, et les données de sortie sont les notes des fonctions [sol-couverture]. En d'autres termes, ce module évalue les fonctions remplies par chaque couple [sol-couverture]. Les notes des fonctions du sol indépendantes de la couverture du sol ne sont pas modifiées lors de cette étape. Pour ce faire, la note de chaque fonction dépendante du sol obtenue au module 1 est multipliée par un facteur 0, 0,5, 1 ou 2 en fonction de la couverture considérée. Par exemple, pour la couverture « non scellée, non bâti pelouse et prairie urbaines », la note de la fonction « circulation et infiltration de l'eau » est multipliée par 2, tandis que la fonction « rétention de l'eau » garde sa note donnée à l'issue du module 1 (Figure 43). Cependant, cette même fonction voit sa note annulée lorsqu'est considérée la couverture de type « scellé, bâti, sans végétation » (multipliée par 0).

				Couvertures du sol								
				Sol scellé		Sol semi-scellé		Sol non scellé				
				Bâti	Voies de circulation	Voies de circulation	Voies de circulation	Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti	Non bâti
Fonctions du sol				Sans végétation	Sans végétation	Sans végétation	Pelouse et prairie urbaines	Sans végétation	Pelouse et prairie urbaines	Jardin potager / ornemental	Arbustes	Arbres
Eau	Circulation et infiltration de l'eau	F8	$FsolC_iC_j$	0	0	0,5	0,5	1	2	2	2	2
	Rétention de l'eau	F9	$FsolC_iC_j$	0	0	1	1	1	1	1	1	1

Figure 43 : Module 3 de l'outil Destisol : réévaluation des fonctions du couple [sol-couverture]. Exemple des fonctions « circulation et infiltration de l'eau » et « rétention de l'eau »

❖ *Module 4 : liens fonctions du couple [sol-couverture] – services écosystémiques du sol*

Le module 4 évalue les services écosystémiques, pour chaque couple [sol ; couverture], sur la base des notes des fonctions estimées à l'issue du module 3 (Figure 44). Les données d'entrée sont donc les notes des fonctions [sol-couverture] issues du module 3 et les données de sortie sont les notes des services écosystémiques. Pour calculer un service écosystémique, l'outil procède à une sélection des fonctions [sol-couverture] pertinentes pour l'évaluation du service, puis à une pondération des notes des fonctions selon un facteur 0, 0,5 ou 1, et enfin à une moyenne de ces notes pour obtenir une note finale de service écosystémique. Par exemple, pour la note de la fonction « circulation et infiltration de l'eau » est multipliée par 0,5 pour calculer le service écosystémique « régulation de l'érosion » mais n'est pas modifiée pour le calcul du service écosystémique « régulation des inondations » (Figure 44).

			Services écosystémiques								
			Régulation							Approvisionnement	
			Régulation de la qualité de l'air	Régulation du		Régulation des aléas		Stockage des déchets	Purification de l'eau	Habitat pour la biodiversité	Aliments
				Climat local	Climat global	Inondations	Erosion				
Fonctions [sol + couverture]			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Eau	Circulation et infiltration de l'eau	F8	0	0	0	1	0,5	0	0,5	0	0
	Rétention de l'eau	F9	0	0,5	0	0	0	1	0	0	0,5

Figure 44 : Module 4 de l'outil Destisol : liens fonctions [sol-couverture] – services écosystémiques. Exemple des fonctions « circulation et infiltration de l'eau » et « rétention de l'eau » et de 9 services

L'exploitation des résultats donnés par Destisol

Les résultats donnés grâce à l'utilisation de Destisol ont été comparés entre sites de projets urbains et aires urbaines, afin de comprendre l'évolution des potentialités des sols urbains selon le type de projet urbain ou l'aire urbaine considérée (Chapitre V).

De plus, les résultats de Destisol sur les dix sites de projets urbains sélectionnés ont permis de réaliser des tests statistiques sous RStudio, et notamment des tests de Tukey-HSD, afin d'évaluer la différence significative des moyennes. Le seuil de significativité a été défini à 0,05 (Chapitre V).

II.2.5. L'optimisation des services rendus par les sols en milieu urbain : la construction d'aires urbaines à haut niveau de services

Afin de comprendre comment et pourquoi les potentialités des sols urbains pouvaient être considérées lors de la définition de stratégies de la fabrique urbaine (Figure 20), trois méthodes empruntées aux sciences sociales ont été mises en place (Figure 45).

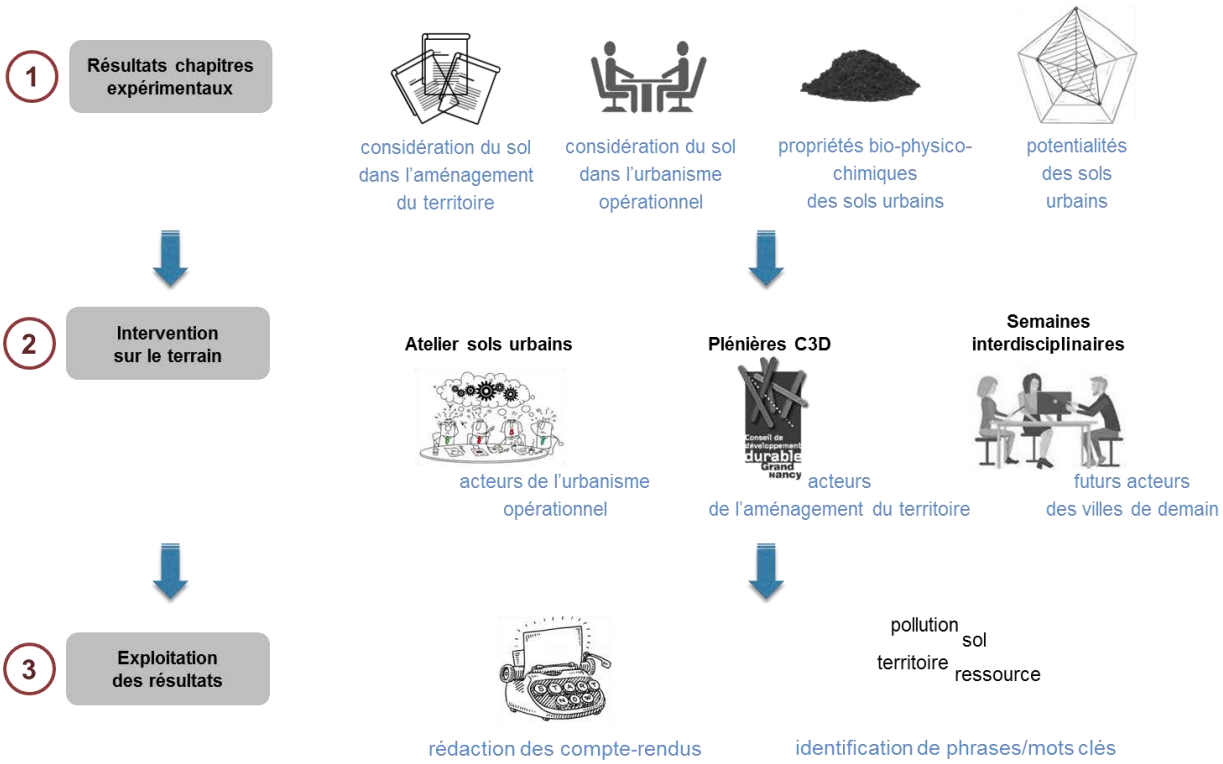


Figure 45 : Méthodologie générale mise en place en vue d'une recherche de l'optimisation des services rendus par les sols urbains au cours du développement de stratégies de fabrique urbaine

L'atelier sur les sols urbains

Un atelier sur les sols urbains a été organisé (Annexe 15) dans l'objectif de (i) rassembler les acteurs opérationnels des différentes aires urbaines pour qu'ils échangent sur leurs bonnes pratiques de considération des sols et (ii) présenter le fonctionnement de Destisol et les résultats acquis au sujet des potentialités des sols sur les sites d'étude du doctorat. Cet atelier s'est déroulé à Nancy, sur une durée d'un jour et demi, permettant ainsi (i) de rendre disponible un maximum d'invités, et (ii) d'organiser un évènement qui soit assez long pour qu'ils apprennent à se connaitre, soient à l'aise pour exprimer leurs idées et puissent faire évoluer leur considération du sol au fil des différents sous-ateliers proposés (Annexe 15).

Il a été choisi de sélectionner trois acteurs de l'urbanisme opérationnel travaillant chacun pour un projet urbain des trois aires urbaines mobilisées. Par souci de représentativité, chacun de ces trois acteurs devait représenter différents métiers considérés par l'urbanisme

opérationnel (*e.g.* société d'aménagement, MOA, MOE). Ont également été conviés deux acteurs de SCE, coordinateur de Destisol ; une experte sur les sols urbains intervenant dans le programme de recherche SUPRA ; et une réalisatrice d'un film sur les sols des territoires anthropisés. *In fine*, ce sont neuf acteurs qui ont participé à cet atelier (Annexe 16).

Pour exploiter l'ensemble des discussions de l'atelier, la méthode du « focus group », utilisée pour étudier des problématiques sociétales, a été mise en œuvre. Elle a permis le recueil de données qualitatives pour refléter l'interaction entre les attitudes des participants et explorer les différents points de vue suscités lors des discussions. Cette technique a nécessité l'enregistrement vidéo des échanges (facilite le traitement des résultats) ainsi que la présence d'un animateur-modérateur (JN. Consalès) et d'un observateur (A. Blanchart), qui avaient pour rôle collectif de collecter des informations sur un nombre limité de questions définies à l'avance.

L'exploitation des discours a permis de relever des phrases clefs qui ont permis d'appuyer et d'étayer la démonstration et les arguments avancés par ailleurs dans le manuscrit (Chapitres III et VI).

La considération des sols dans l'élaboration de documents de planification

Plusieurs séances plénières se sont tenues au Conseil du Développement Durable du Grand Nancy (C3D) entre élus, conseillers intervenant dans différents domaines liés à l'urbanisme, et experts. Il a été possible d'y participer en tant qu'observatrice. Plusieurs ateliers se sont tenus sur l'élaboration du futur PLUi de la Métropole du Grand Nancy, dont certains insistaient sur la nature en ville et l'importance des sols en milieu urbain. La participation à ces ateliers a alors permis de relever des sujets et éléments de discussion pouvant appuyer les propos tenus par ailleurs dans ce présent manuscrit (Chapitre VI).

Le développement de l'agro-urbanisme

Différents ateliers pédagogiques ont été réalisés entre étudiants-ingénieurs agronomes de l'Ecole Nationale des Sciences Agronomiques et des Industries Alimentaires (ENSAIA), étudiants-architectes de l'Ecole Nationale et Supérieure d'Architecture de Nancy (ENSAN) et étudiants-paysagistes-urbanistes de l'Ecole Nationale Supérieure de Paysage, antenne Marseille (ENSP) et de l'Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional (IUAR). Le premier s'est tenu en 2016 entre les étudiants-ingénieurs de l'ENSAIA de dernière année et les étudiants-paysagistes-urbanistes de l'ENSP, suite à une commande de Marseille Rénovation Urbaine au sujet de la reconversion d'une friche urbaine en jardin. Le deuxième s'est tenu en 2016 entre les étudiants-ingénieurs de l'ENSAIA de dernière année et les étudiants-architectes de l'ENSAN, afin qu'ils puissent réfléchir au sein du périmètre de la Métropole du Grand Nancy à une approche générique et globale du développement d'un agro-urbanisme. Enfin, le dernier s'est tenu en 2017, entre les étudiants-ingénieurs de l'ENSAIA de dernière année

et les étudiants-paysagistes-urbanistes de l'ENSP, afin qu'ils puissent co-construire un raisonnement sur la considération agronomique des sols en vue de proposer des stratégies d'aménagement à l'échelle du projet urbain. La participation à ces différents ateliers a permis de comprendre comment ces étudiants, qui seront les acteurs de la ville de demain, ont su s'apprivoiser et définir un langage compréhensible pour travailler en collaboration. Ces éléments de bonnes pratiques peuvent être montés en généricité et participer à élaborer des prescriptions quant à la faisabilité d'effectuer un travail interdisciplinaire, co-construit, entre acteurs de l'aménagement et ceux des sciences du sol. La participation à ces ateliers a alors permis de relever des sujets et éléments de discussion pouvant appuyer les propos tenus par ailleurs dans ce présent manuscrit (Chapitre VI).

Chapitre III – Etat des lieux de la prise en compte des sols dans la fabrique urbaine

Ce chapitre a pour objectif principal de **décrire la considération des sols urbains dans la fabrique urbaine**, à la fois dans l'aménagement du territoire et dans l'urbanisme opérationnel (Figure 19). Pour ce faire, il s'attache à traiter ces deux questions scientifiques :

(1) quels facteurs influencent la considération des sols urbains (*e.g.* échelle, aire urbaine, acteur) ? ;

(2) existe-t-il une potentielle fracture dans la considération des sols urbains entre l'aménagement du territoire et l'urbanisme opérationnel ?

Les résultats présentés dans cette section sont issus des méthodes présentées dans les sections II.2.1. et II.2.2.

III.1. Résultats

III.1.1. La prise en compte des sols dans les écrits de la planification territoriale et les discours des acteurs de projets urbains

L'analyse lexicale de la considération du terme « sol » dans les documents de la planification territoriale

Les résultats de l'analyse lexicale effectuée sur 105 documents de planification (section II.2.1.) indiquent que la moyenne d'occurrence du terme « sol » est de 0,07% (Figure 46). Cet indice est plus faible que les moyennes d'occurrences des termes « transport », « logement », « eau » et « végétation » (respectivement 0,77%, 0,34%, 0,26% et 0,23%). A l'inverse, la fréquence d'écriture du terme « sol » dans les documents d'urbanisme est du même ordre de grandeur que celle des termes « biodiversité » (0,08%), « air » (0,07%), et « nature » (0,06%), et plus élevée que celle des termes « terre » (0,02%) et « agriculture » (0,01%).

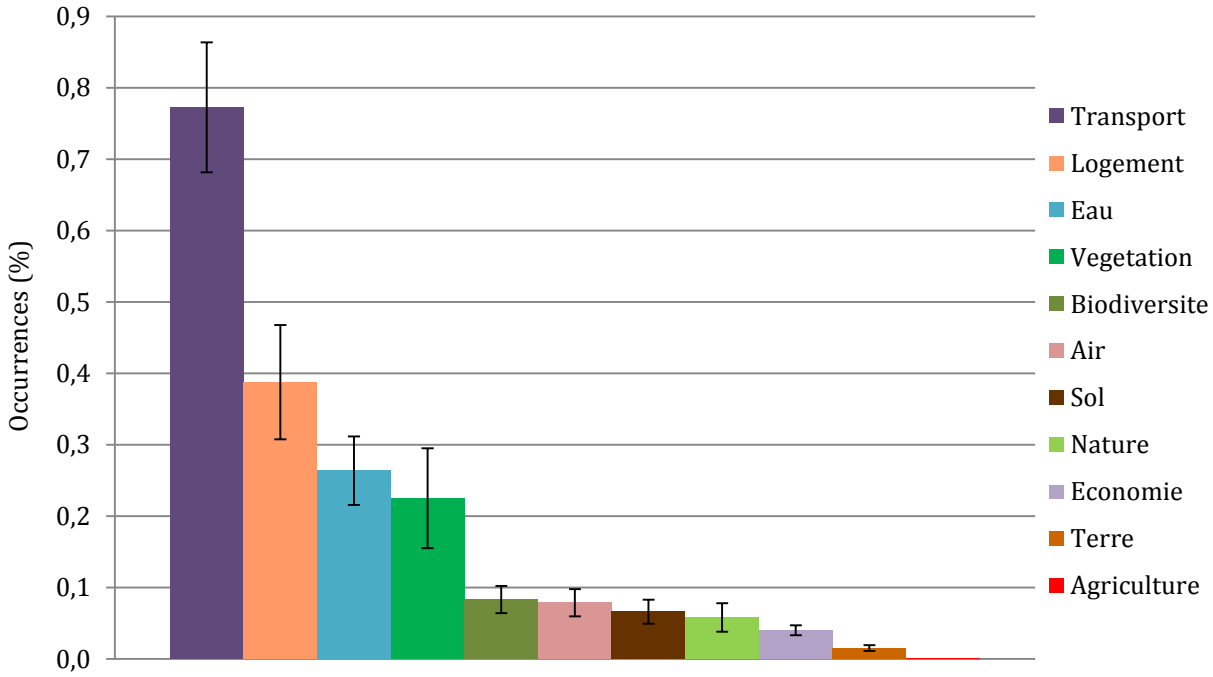


Figure 46 : Indices d'occurrences des mots étudiés dans l'analyse lexicale de 105 documents d'urbanisme français

L'intérêt manifesté pour les sols par les acteurs de la planification territoriale et de l'urbanisme opérationnel

Sur 201 acteurs contactés pour le sondage national (section II.2.1.), 75 acteurs ont répondu positivement à la sollicitation. Soit un taux de réponse de 37%, relativement élevé

dans un contexte de sollicitation par e-mail (en moyenne, il est de 30% (Taylor, 2017)). Ce chiffre de 37% peut être interprété comme la manifestation de l'intérêt qu'ont les acteurs de l'aménagement à discuter de sujets relatifs au sol.

Sur les 30 acteurs de projets urbains mobilisés (section II.1.4.), 23 ont accepté de passer des entretiens. Le taux de réponse positif s'élève ainsi à 76%, témoignant du fort intérêt pour la thématique « sol » que présentent les acteurs contactés.

L'analyse lexicale des considérations de « sol-surface » et « sol-ressource » dans les documents de la planification territoriale

Les résultats de l'analyse lexicale des documents d'urbanisme montrent un équilibre du sens et de l'utilisation des concepts de « sol-surface » (indice d'occurrences = 0,04%) et de « sol-ressource » (indice d'occurrences = 0,03%) (Figure 47).

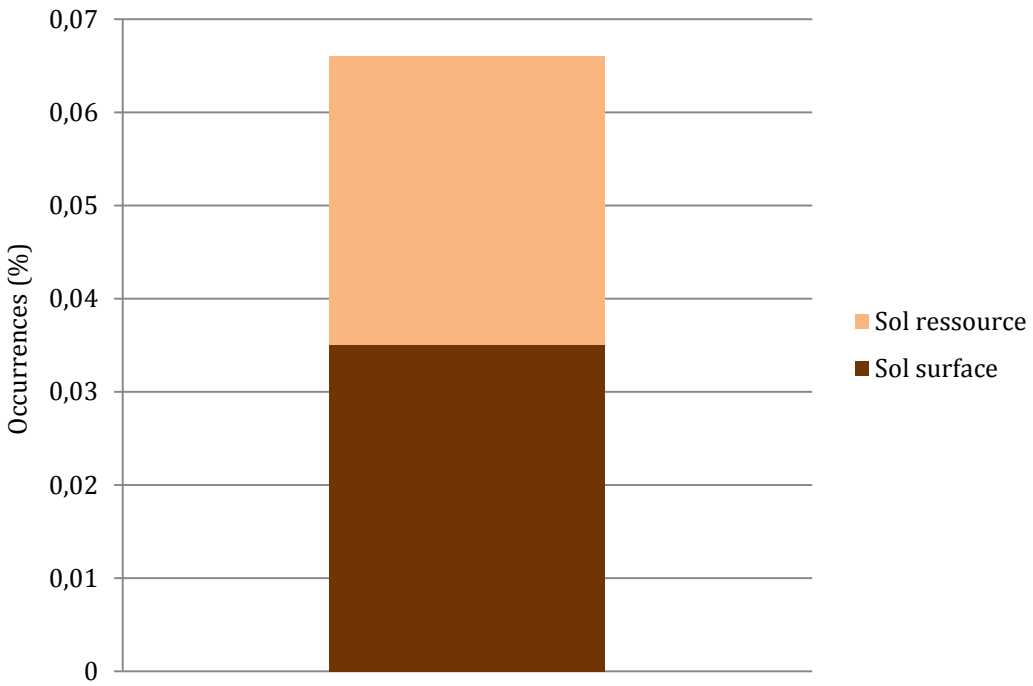


Figure 47 : Considération de « sol-surface » et « sol-ressource » dans les 105 documents de planification

Bien qu'environ une occurrence sur deux du terme « sol » renvoie à la notion de « sol-ressource », les résultats montrent qu'il existe une faible corrélation entre la fréquence d'écriture de « sol » et celle de « sol-ressource ». En effet, l'indice de corrélation R^2 est égal à 0,36 (Figure 48). Ceci signifie que la forte utilisation du mot « sol » dans un document de planification territoriale n'entraine pas obligatoirement une forte utilisation du sol en tant que ressource dans ce même document de planification.

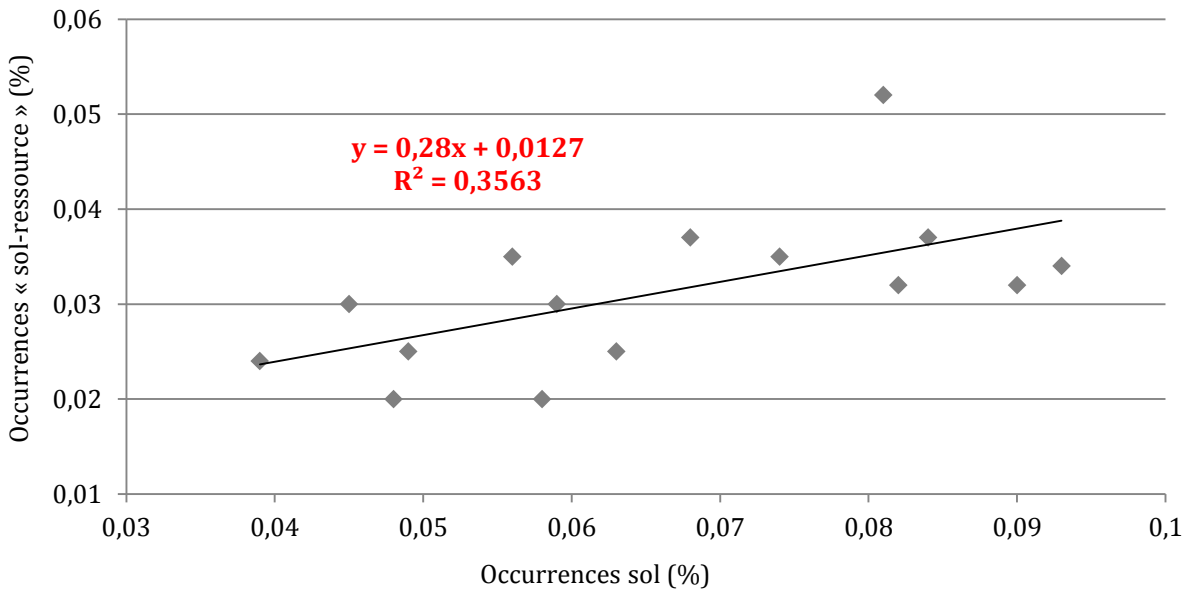


Figure 48 : Corrélation entre les fréquences d'écriture de « sol » et de « sol-ressource » dans les 105 documents de planification

III.1.2. La variabilité de la considération des sols comme ressources dans les documents de la planification territoriale

L'influence des documents de planification

Les résultats de l'analyse lexicale traduisent une variabilité des occurrences des différents termes étudiés selon le document de planification considéré (Figure 49). Par exemple, le terme « transport » est utilisé en moyenne à hauteur de 2,91% dans le PDU, alors que son indice d'occurrences n'atteint que 0,06% dans le SDAGE. Le terme « logement » quant à lui est utilisé en moyenne à hauteur de 1,87% dans le PLH contre 0,007% dans le SDAGE. Quant au terme « sol », il est plus écrit dans le SRCE (0,13%) et le PLU (0,17%) que dans le PDU (0,01%).

Les résultats indiquent également une variabilité des occurrences des termes étudiés au sein de chaque document d'urbanisme considéré (Figure 49). Ceci se remarque par exemple dans le PLH, où les occurrences de « logement » sont largement plus importantes que celles des autres mots (0,25% en moyenne pour « transport ») ; dans le SDAGE où l'occurrence moyenne d' « eau » atteint 1,14% contre 0,11% pour « végétation » ; ou encore dans le SRCE où « végétation » et « biodiversité » apparaissent en moyenne et respectivement 0,90% et 0,40%, contre 0,13% pour « sol ».

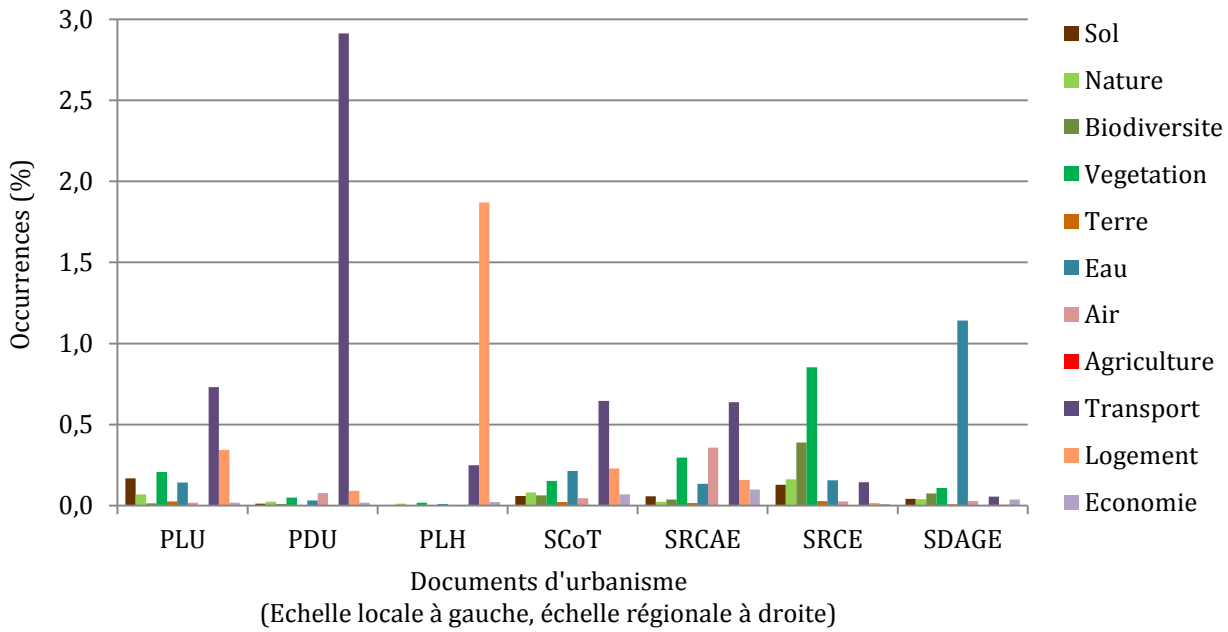


Figure 49 : Indices d'occurrences des mots analysés par document d'urbanisme pour les 105 documents de planification étudiés

L'influence de l'échelle afférente au document de planification

L'analyse lexicale des documents de planification permet de mettre en exergue le fait que le SCoT, le SRCAE ou encore le SDAGE appréhendent majoritairement le sol en tant que ressource. A l'inverse, certains documents de planification, et notamment ceux ayant trait à la planification locale, appréhendent majoritairement le sol essentiellement comme une surface foncière (Figure 50). Par exemple, dans le PLU, l'indice d'occurrences de « sol-ressource » représente 1/5 des occurrences de sol (0,03% contre 0,17% respectivement) ; tandis que dans le SDAGE par exemple, elle représente 4/5 des occurrences de sol (0,03% contre 0,04% respectivement).

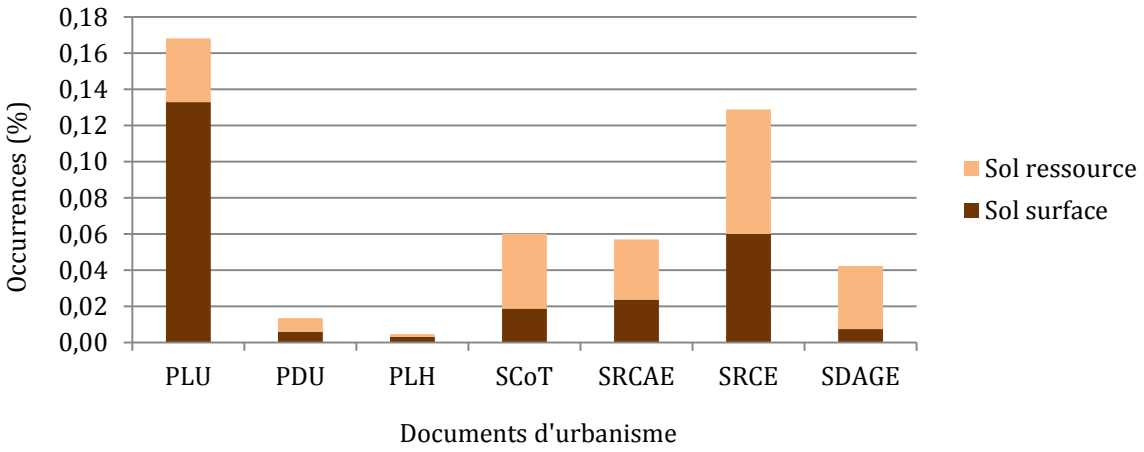


Figure 50 : Indices d'occurrences de « sol-surface » et « sol-ressource » par document d'urbanisme pour les 105 documents de planification étudiés

Ces résultats sont renforcés par ceux de l'analyse lexicale réalisée sur l'ensemble des PLU des communes composant les trois métropoles MGN, MAMP et NM. En effet, les résultats de cette analyse sur les PLU indiquent qu'en moyenne les occurrences du terme « sol » renvoient à des occurrences de « sol-surface », à 79,30% pour MGN, à 89,40% pour MAMP, et à 80,00% pour NM (Figure 51).

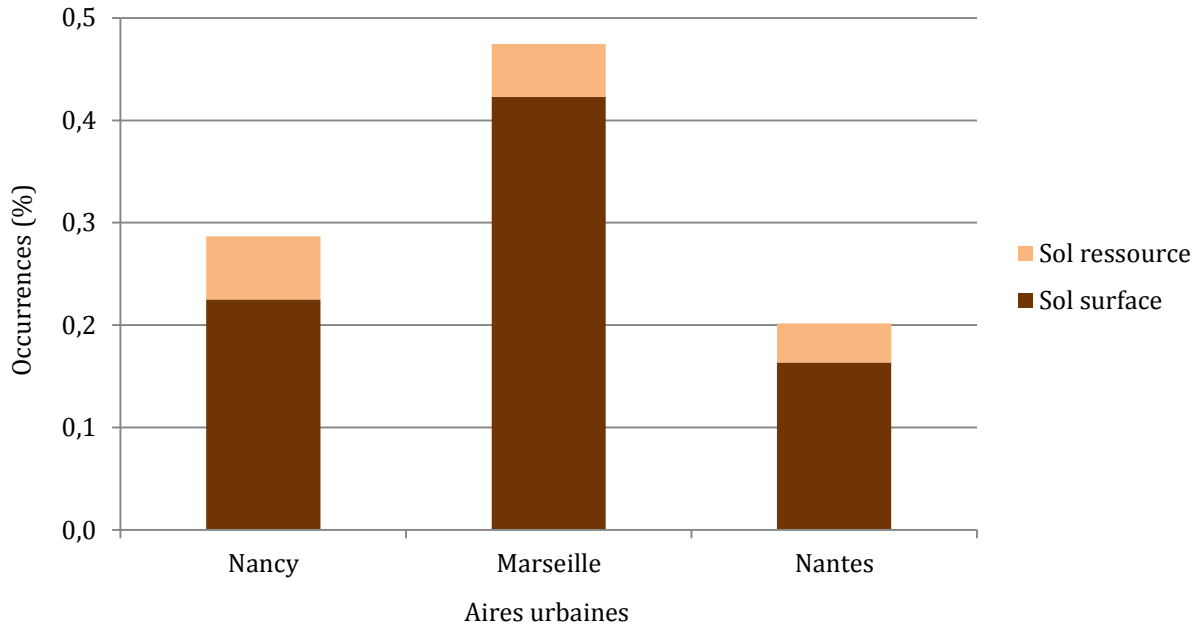


Figure 51 : Indices d'occurrences de « sol-surface » et « sol-ressource » dans les PLU des communes constituant les trois métropoles MGN, MAMP et NM

Révélée par une démarche quantitative, cette différence de considération du « sol-ressource » dans les documents d'urbanisme se retrouve également dans leur analyse qualitative. Dans les PLU les occurrences de sol sont fortement liées aux notions d'occupation et d'utilisation du sol, de coefficient d'emprise au sol, d'aptitude des sols à recevoir un système d'assainissement des eaux usées, d'artificialisation des sols ou encore de pollution des sols. De manière différente, les occurrences de sol dans les SCoT font référence à la protection des sols agricoles et forestiers. La lecture des SRCAE indique que dans ces documents, les occurrences du terme sol sont principalement liées à la notion d'adaptation au changement climatique et de pollution du sol dans une logique de préservation de la qualité de l'air. De manière encore différente, les occurrences du terme « sol » au sein du SRCE concernent principalement l'idée que les sols sont des supports d'habitats pour la biodiversité. Enfin, dans les SDAGE, les occurrences de sol renvoient principalement à la notion de service que rend le sol dans le support des eaux (*e.g.* quantité d'eau dans les sols, absorber l'eau du sol) et de service que rend le sol dans la fixation des polluants dans un contexte de préservation de la qualité de l'eau d'un point de vue santé humaine.

L'influence du statut réglementaire des sous-parties des documents de planification

Les résultats de l'analyse lexicale des PLU indiquent que les occurrences « sol-ressource », par comparaison aux occurrences « sol-surface », sont plus élevées dans le rapport de présentation (RP) et le PADD (Figure 52). A l'inverse, dans le règlement, les occurrences de « sol » renvoient davantage à la notion de surface (88%) que de ressource (12%). Du côté du SCoT, les occurrences de « sol-ressource » dans le RP et le PADD sont plus élevées que celles de « sol-surface » (Figure 53). Mais contrairement aux PLU, le document d'orientations et d'objectifs (DOO), qui est la pièce opposable aux tiers, utilise plus le terme sol pour parler d'une ressource (67%) que pour faire référence à une surface foncière (33%).

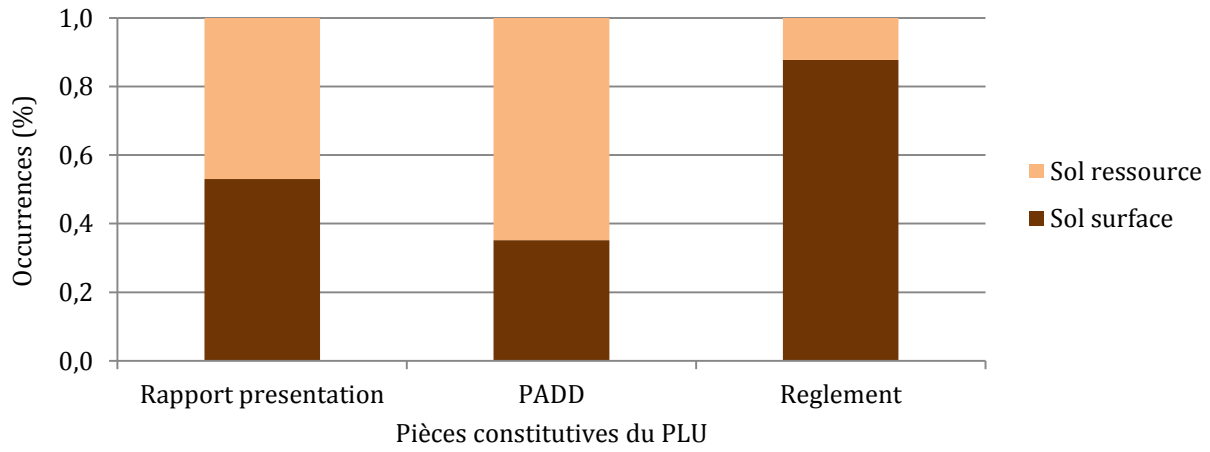


Figure 52 : Densité des occurrences de « sol-surface » et « sol-ressource » dans les pièces des 15 PLU étudiés

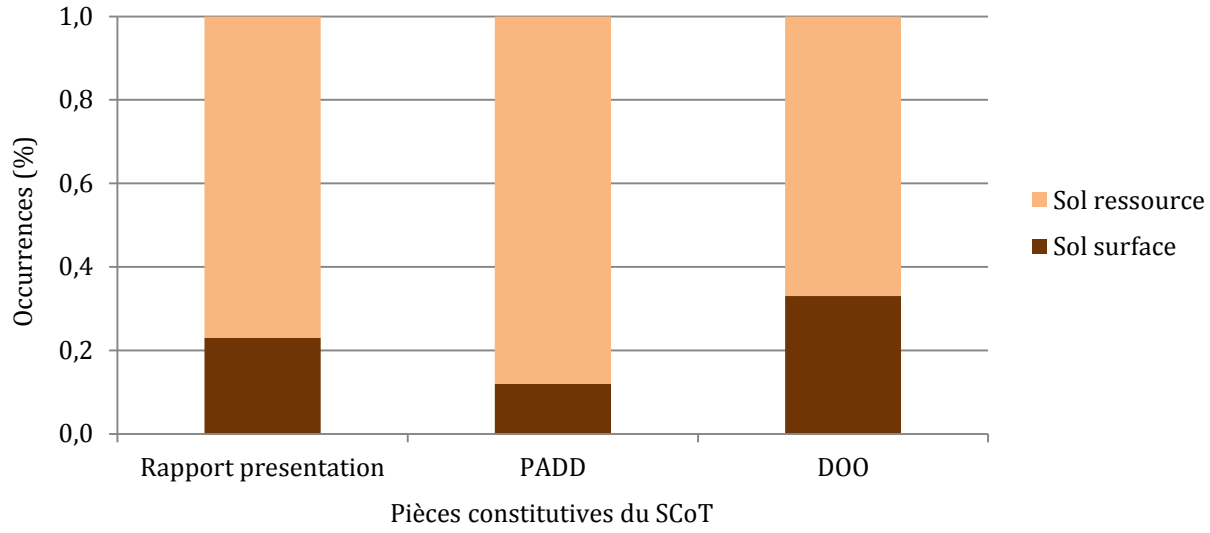


Figure 53 : Densité des occurrences de « sol-surface » et « sol-ressource » dans les pièces des 15 SCoT étudiés

L'influence quantitative et qualitative de la localisation des aires urbaines sur la considération du sol dans les documents de la planification territoriale

Rouen est l'aire urbaine qui écrit le plus le terme « sol » dans ses documents de planification (0,09%) (Figure 54). Toulouse et Avignon sont dans la moitié du classement (avec respectivement 0,07% et 0,06%), tandis que Strasbourg ferme le classement avec un indice d'occurrences atteignant 0,04%. Cependant, ces différences d'indices d'occurrences s'estompent fortement d'une aire urbaine à l'autre en ne considérant uniquement que les occurrences du sol comme ressource (Figure 55). Les indices d'occurrence de « sol-ressource » sont globalement compris entre 0,02% et 0,03% et l'écart-type est faible (0,01). Il est cependant à noter que les aires urbaines de Tours (0,05%), Paris (0,04%), Grenoble (0,03%) et Strasbourg (0,03%) présentent les moyennes d'occurrences du « sol » en tant que ressource les plus élevées.

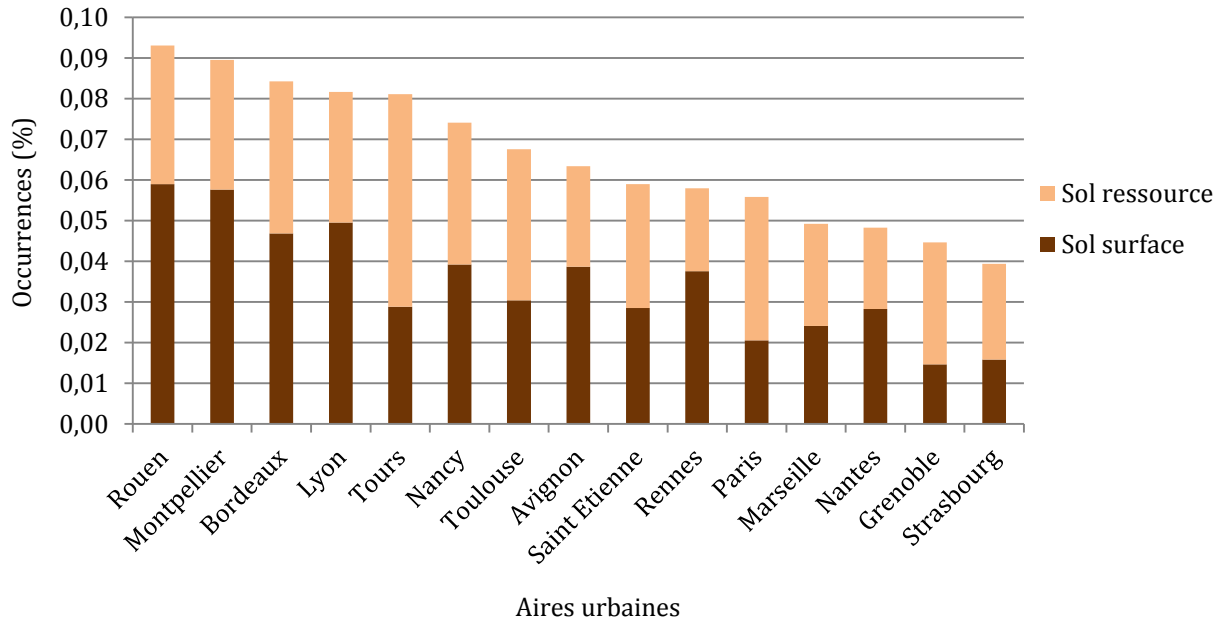


Figure 54 : Indices d'occurrences de « sol-surface » et « sol-ressource » en fonction des 15 aires urbaines étudiées

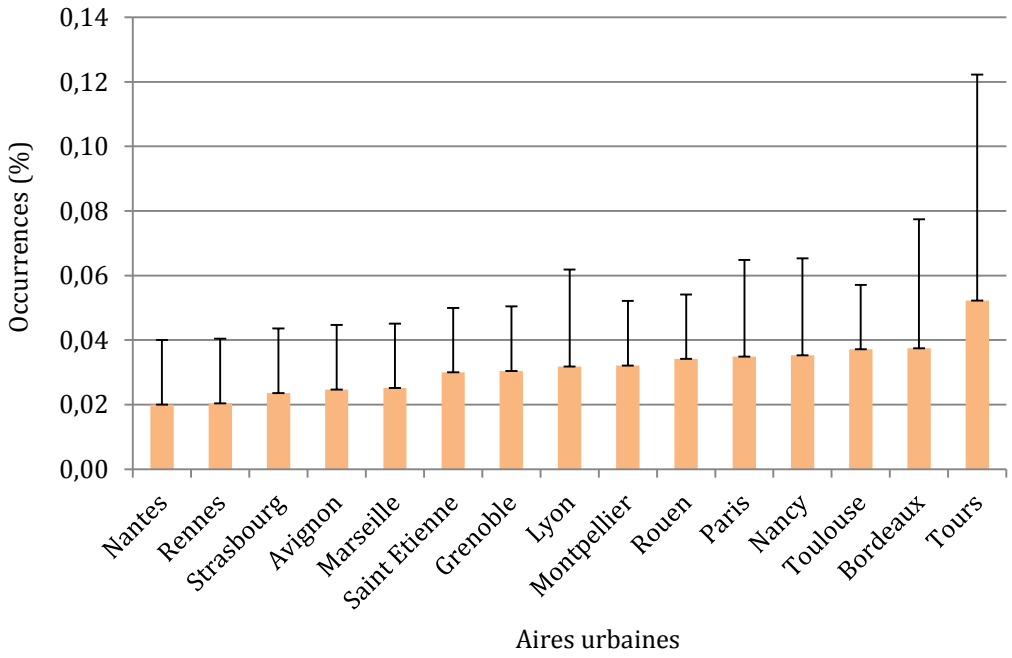


Figure 55 : Indices d'occurrences de « sol-ressource » en fonction des 15 aires urbaines étudiées

Ces résultats sont confortés par ceux de l'analyse lexicale effectuée sur les PLU des communes de MGN, MAMP et NM (Figure 51). Les résultats indiquent en effet que ce sont les PLU des communes de MAMP qui utilisent davantage le terme « sol ». Cependant, les indices d'occurrences du sol en tant que ressource sont du même ordre de grandeur pour les PLU des trois Métropoles : 0,06% pour les PLU de MGN, 0,05% pour ceux de MAMP et 0,04% pour ceux de NM.

L'analyse qualitative des documents de planification montre que les documents de certaines aires urbaines abordent davantage le sol sous l'angle d'un sujet en particulier, traduisant généralement l'histoire et le contexte urbain dans lesquels l'aire urbaine s'est développée. C'est particulièrement le cas pour les documents d'urbanisme de l'aire urbaine de MGN, dont les occurrences de « sol-ressource » sont fortement liées aux notions de pollution et de risques naturels. Les documents de planification de l'aire urbaine de MAMP présentent également cette particularité, prenant très fortement en compte l'aspect productif des sols agricoles et la nécessité donc de les protéger. De son côté, l'aire urbaine de Paris insiste tout particulièrement, dans sa prise en compte du sol en tant que ressource, sur les aspects de pollution vis-à-vis de la santé humaine et d'imperméabilisation des sols.

L'influence de la distance au pôle urbain sur la considération des sols dans les PLU

Les résultats de l'analyse lexicale menée sur les PLU des communes constituant les trois métropoles MGN, MAMP et NM indiquent que les occurrences de « sol-surface » des PLU des communes centrales (de 0 à 5 km) ont tendance à être plus faibles que celles des communes périphériques (Figure 56). Ces occurrences atteignent un « plafond »

à une distance variable d'une métropole à l'autre, c'est-à-dire qu'elles augmentent de la commune centre aux communes périphériques, pour ensuite diminuer. Par exemple, pour les communes de MGN, les occurrences de « sol-surface » des PLU des communes situées entre 5 et 10 km de Nancy sont plus élevées (0,32%) que celles des communes situées entre 0 et 5 km (0,22%) et 10 et 15 km (0,10%). Pour les communes de NM, les occurrences de « sol-surface » des PLU des communes situées entre 10 et 15 km sont plus élevées (0,19%) que celles des PLU des communes situées entre 0 et 5 km (0,12%), 5 et 10 km (0,16%) et 15 et 20 km (0,15%). Pour MAMP, ces tendances sont plus nettes. En effet, l'indice d'occurrences de « sol-surface » augmente au fur et à mesure de l'éloignement au pôle urbain (0,07% entre 0 à 5 km et 0,50% entre 15 et 20 km) puis diminue pour les PLU des communes situées à partir de 25 km du pôle urbain (0,29% entre 25 et 30 km).

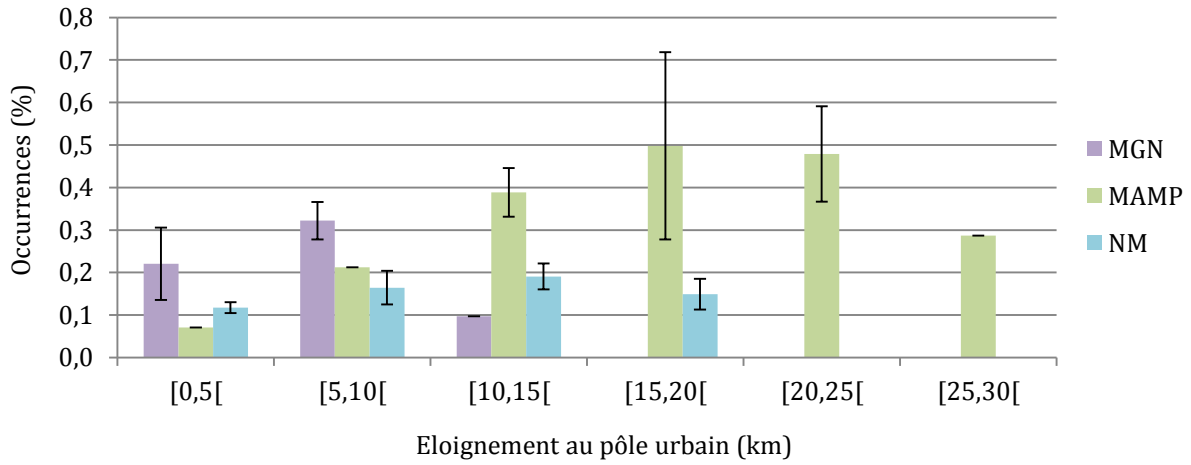


Figure 56 : Indices d'occurrences de « sol-surface » dans les PLU des 3 Métropoles, selon la distance au pôle urbain

Ces résultats semblent s'estomper pour les occurrences de « sol-ressource ». En effet, les occurrences de « sol-ressource » sont faibles pour les PLU considérés (comprises entre 0,02% et 0,07%), et ne varient que très légèrement en fonction de la distance d'éloignement au pôle urbain (Figure 57). Par exemple, pour MAMP, l'indice d'occurrences du « sol-ressource » dans les PLU des communes situées entre 0 et 5 km est de 0,02%, de 0,07% pour celles situées entre 20 et 25 km et de 0,05% pour celles situées à partir de 25 km.

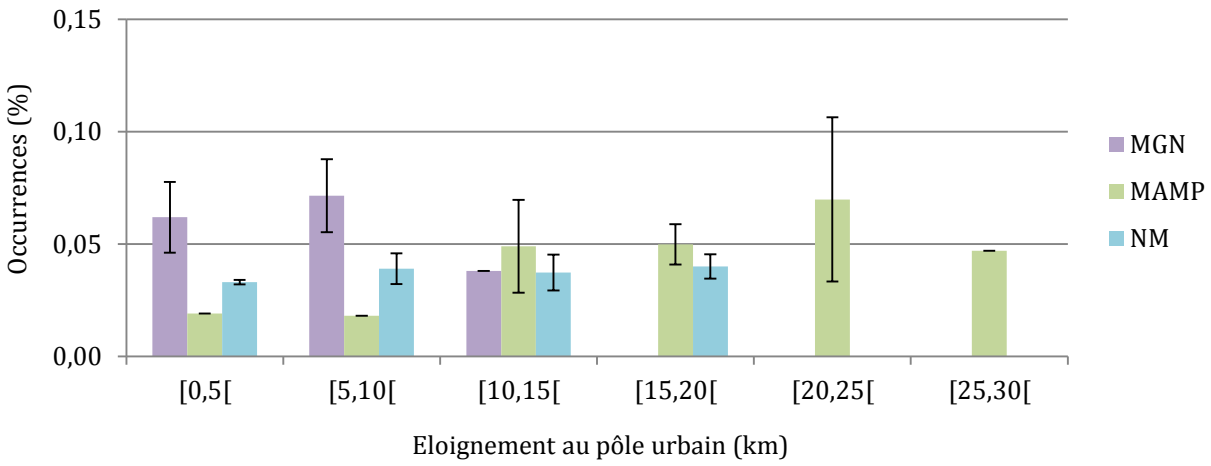


Figure 57 : Indices d'occurrences de « sol-ressource » dans les PLU des 3 Métropoles, selon la distance au pôle urbain

L'influence des facteurs urbanistiques des documents de la planification territoriale sur la considération des sols

L'analyse statistique effectuée en croisant les résultats de l'analyse lexicale avec des données géographiques, démographiques et politiques (Tableau 14) soulignent quelques corrélations significatives entre le critère étudié et l'occurrence du mot considéré. Pour ces résultats, il est considéré que l'influence d'un critère sur l'occurrence du mot est significative lorsque le r^2 est supérieur à 0,05 et lorsque la p-value est inférieure à 0,05. A ce titre, les résultats soulignent le fait que les critères relatifs à la superficie des espaces et à la couleur politique n'ont pas d'influence significative sur les occurrences des mots étudiés. En effet, dans la majorité des cas, leur r^2 est au minimum exprimé en 10^{-3} ($r^2_{densité - sol\text{-}surface}$=5,0 E^{-03} ; $r^2_{superficie\ agricole - biodiversité}$=8,0 E^{-04}) et leur p-value est supérieure à 0,05 (p-value $_{couleur\ politique - logement}$=6,2 E^{-01} ; p-value$_{superficie - transport}$=6,6 E^{-01}). Par ailleurs, les résultats soulignent que le critère « date de publication du document » semble avoir une influence jugée significative sur les occurrences de « eau » (r^2=9,8 E^{-02} ; p-value=1,5 E^{-02}) et « logement » (r^2=5,1 E^{-02} ; p-value=8,3 E^{-03}). De plus, ce critère semble avoir une influence significative sur l'occurrence du terme « sol-ressource » (r^2=6,8 E^{-02} ; p-value=4,3 E^{-02}). L'indice d'occurrences de « sol-ressource » augmente de 0,001% en 2000 à environ 0,04% en 2015 (Figure 58). Inversement, cette analyse montre que la fréquence d'écriture du terme « sol-surface » a augmenté de 2000 à 2008 (0,001% en 2000, près de 0,1% en 2008) et a stagné de 2008 à 2015, avec un indice d'occurrence moyen de 0,02%. Si une telle évolution est révélée par l'analyse lexicale des documents d'urbanisme, elle s'avère différente au regard des résultats de l'analyse lexicale effectuée uniquement sur les PLU (Figure 59). En effet, il s'avère que pour les PLU des communes de MGN, MAMP et NM, les occurrences de « sol-ressource »

augmentent significativement jusque 2011 (0,03%), puis ont tendance à diminuer faiblement jusqu'en 2016 (0,03%).

Tableau 14 : Table de correspondance des termes analysés et des caractéristiques démographiques des aires urbaines et des caractéristiques intrinsèques aux documents d'urbanisme

		superficie	densité	superficie urbaine	superficie agricole	superficie forestières	couleur politique	date de publication
sol-surface	R-squared	1,9 E-03	5,0 E-03	4,5 E-03	2,7 E-03	2,8 E-03	5,8 E-03	3,0 E-03
	p-value	7,4 E-01	5,9 E-01	6,1 E-01	6,9 E-01	6,8 E-01	5,6 E-01	6,8 E-01
sol-ressource	R-squared	1,0 E-03	2,9 E-04	3,3 E-04	1,7 E-03	6,7 E-04	8,7 E-03	6,8 E-02
	p-value	8,0 E-01	8,9 E-01	8,9 E-01	7,5 E-01	8,4 E-01	4,8 E-01	4,3 E-02
biodiversité	R-squared	2,4 E-03	1,9 E-03	4,1 E-04	8,0 E-04	7,0 E-03	3,0 E-02	1,6 E-01
	p-value	7,1 E-01	7,4 E-01	8,8 E-01	8,3 E-01	5,3 E-01	1,9 E-01	1,5 E-03
eau	R-squared	1,7 E-02	5,4 E-05	1,0 E-2	7,0 E-03	1,7 E-02	2,8 E-02	9,8 E-02
	p-value	3,3 E-01	9,6 E-01	4,4 E-01	5,2 E-01	3,2 E-01	2,0 E-01	1,5 E-02
air	R-squared	6,3 E-03	4,7 E-03	2,5 E-04	7,0 E-04	6,1 E-03	7,6 E-03	2,7 E-02
	p-value	5,5 E-01	6,0 E-01	9,0 E-01	8,4 E-01	5,5 E-01	5,1 E-01	2,1 E-01
logement	R-squared	1,1 E-03	1,2 E-05	8,9 E-04	2,4 E-08	1,3 E-03	4,3 E-03	5,1 E-02
	p-value	8,0 E-01	9,9 E-01	9,8 E-01	9,9 E-01	7,8 E-01	6,2 E-01	8,3 E-02
transport	R-squared	3,3 E-03	3,2 E-03	4,5 E-05	5,0 E-03	2,5 E-03	1,0 E-03	2,5 E-01
	p-value	6,6 E-01	6,7 E-01	9,6 E-01	5,9 E-01	7,1 E-01	8,1 E-01	4,1 E-05
économie	R-squared	6,0 E-03	3,0 E-03	1,7 E-04	1,1 E-02	9,7 E-03	2,0 E-03	1,4 E-01
	p-value	5,6 E-01	6,8 E-01	9,2 E-01	4,2 E-01	4,5 E-01	7,4 E-01	3,7 E-03

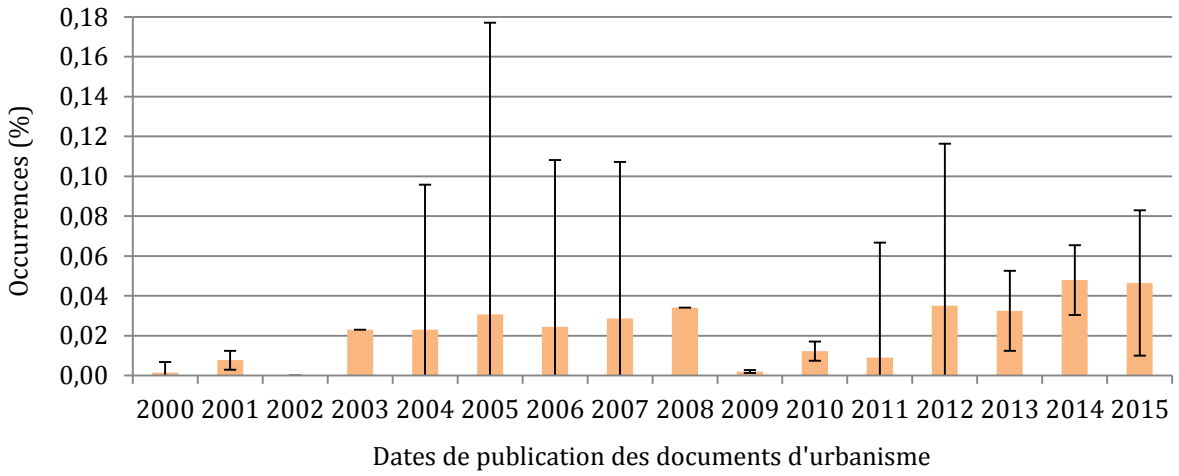


Figure 58 : Occurrences de « sol-ressource » selon la date de publication des 105 documents d'urbanisme

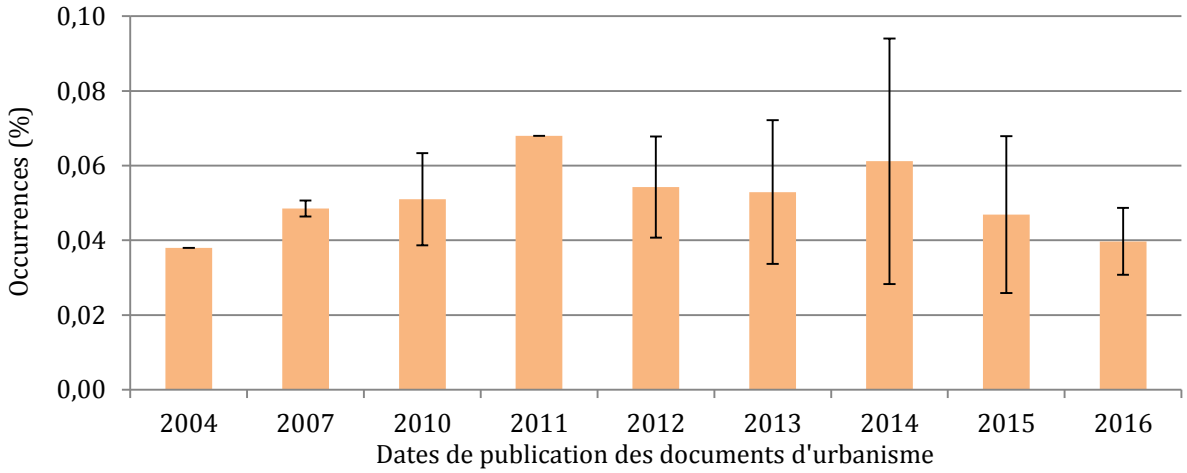


Figure 59 : Occurrences de « sol-ressource » selon la date de publication des PLU des communes des Métropoles MGN, MAMP et NM

III.1.3. La variabilité de la considération des sols comme ressources dans les discours des acteurs de la planification territoriale et de l'urbanisme opérationnel

La considération du « sol-ressource » dans les discours des acteurs de la planification territoriale

Le sondage réalisé auprès des agences d'urbanisme, des services espaces verts et urbanisme ainsi qu'auprès des bureaux d'étude indiquent que la considération apportée au sol varie en fonction de la structure d'accueil de travail (Figure 60). Il apparait que ce sont les personnes travaillant au sein des services « environnement » et « urbanisme » des collectivités territoriales qui ont le plus répondu à l'enquête. De plus, ces personnes obtiennent une note moyenne de considération du sol proche de 3. Les acteurs des bureaux d'études et les élus des collectivités territoriales présentent également des résultats similaires. A l'inverse, les agences d'urbanisme ont répondu au sondage, mais leur note moyenne de considération du sol est proche de 1. Enfin, il semble intéressant de noter qu'aucun acteur interrogé n'a obtenu la note maximale de 5 lors de l'évaluation de son discours.

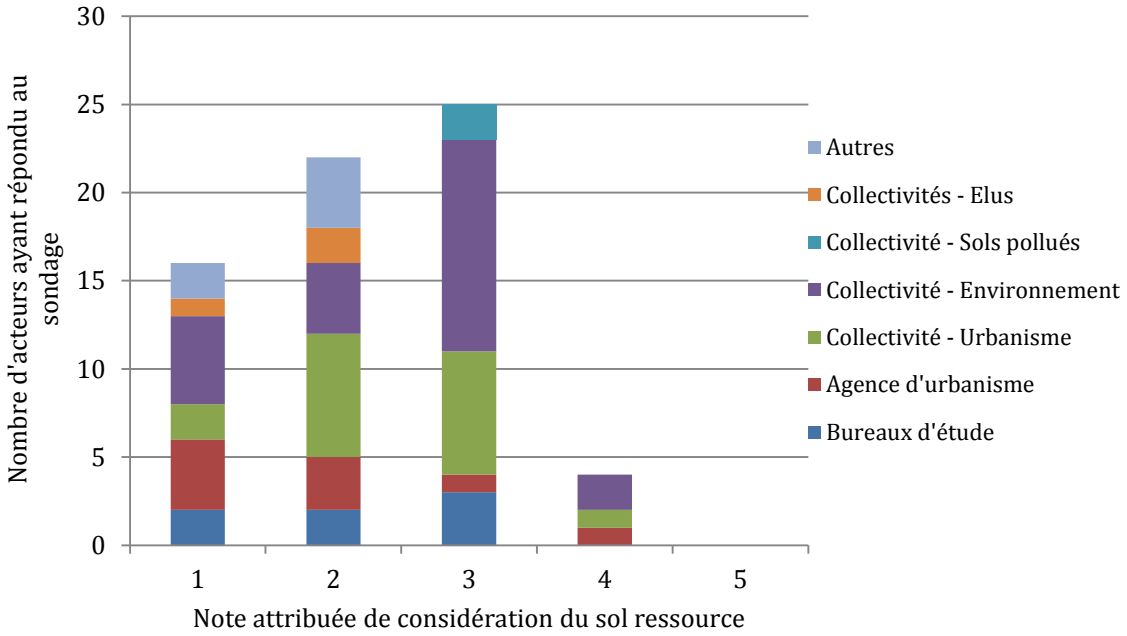


Figure 60 : Note de considération du sol comme ressource attribuée à chaque acteur ayant répondu au sondage en ligne

La considération du « sol-ressource » dans les discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel selon la politique exercée par la Métropole

Les résultats de la campagne de terrain indiquent que la note d'intérêt (donnée sur 5) pour le « sol-ressource » attribuée à chacun des acteurs de projets urbains rencontrés est de 3,1 en moyenne pour MGN et MAMP, et de 3,3 pour NM (Figure 61). De plus, les résultats de l'ANOVA et du test de Tukey effectués sur R Studio indiquent qu'il n'y a aucune différence significative entre les résultats des trois Métropoles, étant donné que la p-value entre chaque Métropole est toujours supérieure à 0,05.

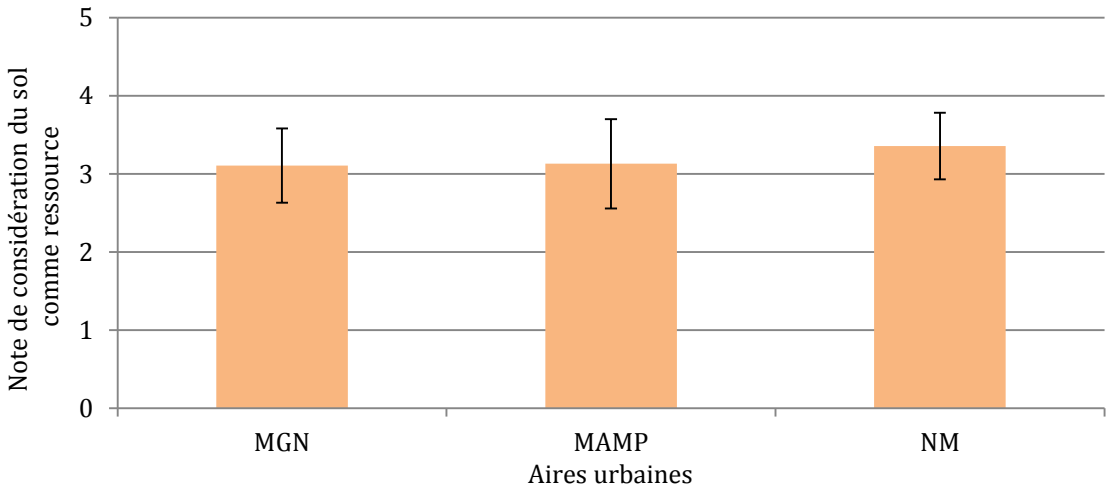


Figure 61 : Note de considération pour le sol comme ressource attribuée aux acteurs de projets urbains rencontrés lors des entretiens

La considération du « sol-ressource » dans les discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel selon leur profession

Les acteurs de projets urbains ont obtenu en moyenne une note de considération du sol comme ressource est 3,3/5. L'analyse des résultats met en exergue la variabilité de cette considération en fonction de la profession de l'acteur interrogé (Figure 62). En effet, les acteurs de chantier (BTP) (2,8/5), de la maîtrise d'ouvrage (MOA) (3,1/5) et les aménageurs (3,1/5) présentent tendanciellement une plus faible considération du sol comme ressource que les acteurs de la maîtrise d'œuvre (MOE) (3,6/5). L'ANOVA et le test de Tukey réalisés sur R Studio permettent de souligner qu'il n'existe aucune différence significative entre les métiers considérés (p-values inférieures à 0,05).

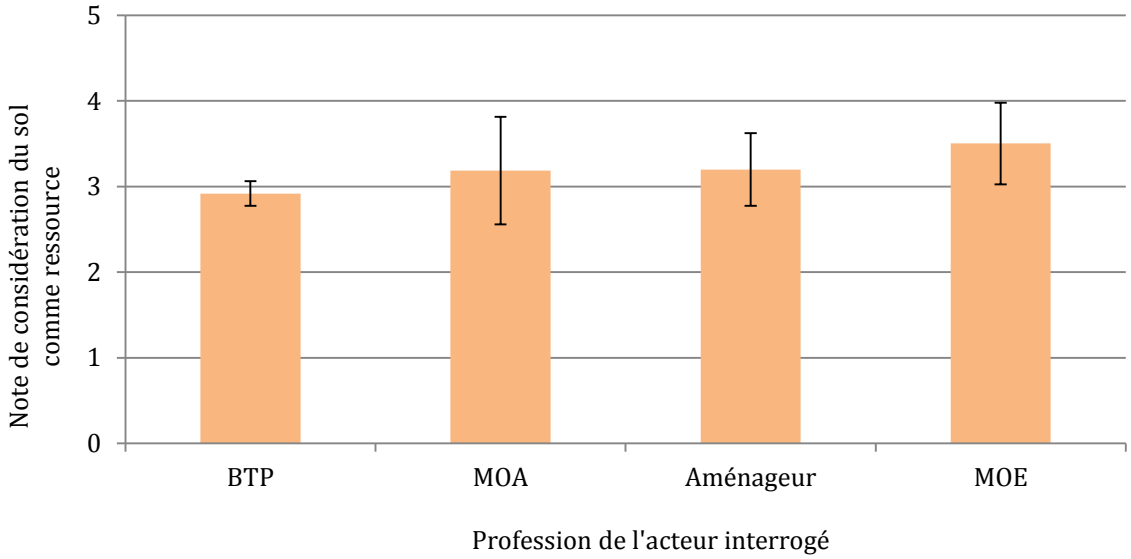


Figure 62 : Considération du sol comme ressource selon la profession de l'acteur de projet urbain rencontré lors des entretiens

La considération du « sol-ressource » dans les discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel selon le type de projet urbain sur lequel ils travaillent

L'analyse des entretiens fait apparaître que les acteurs intervenant sur des projets urbains de rénovation urbaine sont ceux qui présentent la plus forte considération du sol en tant que ressource (note moyenne = 3,3/5) (Figure 63). Elle est de 3/5 pour les acteurs intervenant sur des projets d'écoquartiers et d'extension urbaine. L'ANOVA et le test de Tukey réalisés sur R Studio permettent de souligner qu'il n'existe aucune différence significative entre les types de projets urbains considérés (p-values inférieures à 0,05).

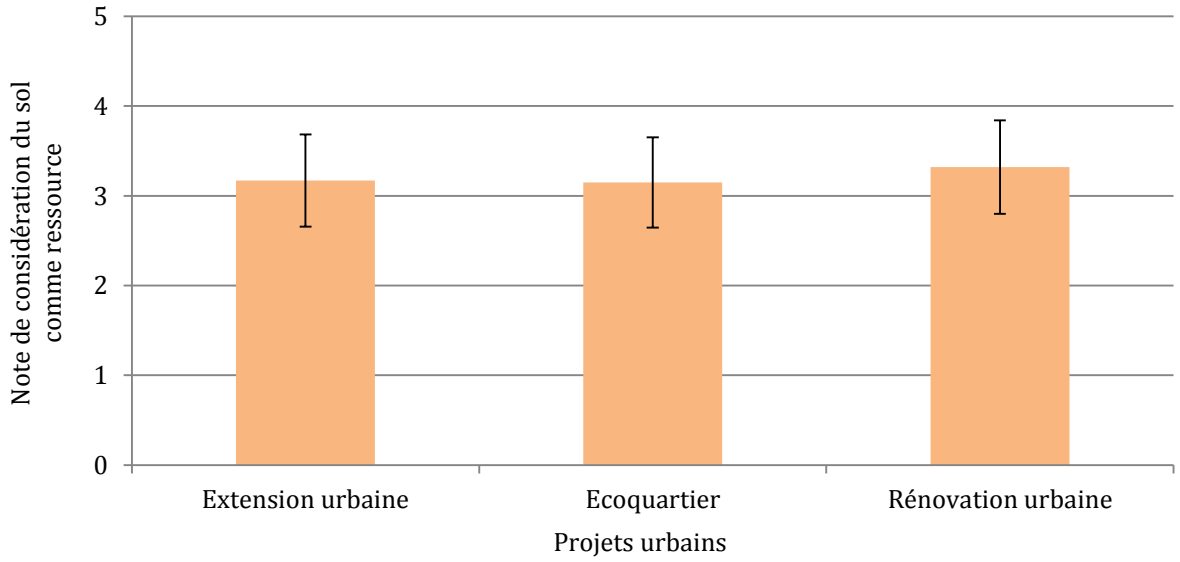


Figure 63 : Considération du sol comme ressource selon le projet urbain, définie à la suite des entretiens avec les acteurs de projet urbain

III.1.4. La considération des sols urbains dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel

La considération des sols urbains dans les documents de la planification territoriale

L'analyse lexicale des 105 documents de planification révèle que seules 4 occurrences du terme « sol » sont liées au contexte urbain. Ces occurrences sont présentes dans le SDAGE de Seine-Normandie et le schéma d'aménagement régional d'Ile-de-France (SDRIF). Elles renvoient notamment au contexte de pollution des sols anthropisés.

La considération des sols urbains par les acteurs de l'urbanisme opérationnel

L'atelier post-it (section II.2.5. du chapitre II) tend à démontrer que pour les acteurs de l'urbanisme de projet, le sol urbain est davantage perçu comme source de contraintes que d'opportunités (Tableau 15). Les six acteurs de projet urbain interrogés sur cette question ont avancé au total 45 caractéristiques des sols urbains qu'ils jugent comme des contraintes à considérer dans leur profession. Ces contraintes sont listées dans le tableau ci-dessous par fréquence de citation. En complément, 27 opportunités offertes par les sols au cours du développement d'un projet urbain ont été citées par les acteurs interrogés. Elles sont également représentées par fréquence de citation dans le tableau ci-dessous.

De manière intéressante, certaines contraintes citées sont communes à la majorité des acteurs, quelles que soient leurs origines et leurs fonctions. C'est en particulier le cas (i) de leur perméabilité (en l'occurrence leur faible perméabilité) susceptible de limiter l'infiltration et donc la gestion des eaux pluviales, (ii) de la pollution des sols, (iii) de l'encombrement que leur manipulation impose sur site et hors site et qui représente

un coût pour les projets urbains, (iv) de leur faible qualité physique et chimique et (v) de l'importance de considérer leurs caractéristiques géotechniques. D'autres contraintes sont citées par un nombre plus restreint d'acteurs de l'urbanisme opérationnel. C'est le cas notamment de l'hétérogénéité de la qualité des sols urbains sur un même site de projet et de l'absence d'intégration de la considération des propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains dans les cahiers des charges.

Parmi les opportunités principalement citées, les acteurs interrogés citent la possibilité de modifier le sol, qui est une matière meuble, pour participer à la création de paysages, en jouant sur les reliefs et la topographie des sols du site de projet urbain. Ensuite, ils citent leur capacité d'infiltration des eaux. D'autres opportunités sont citées par un nombre plus restreint d'acteurs, se référant notamment à la capacité des sols urbains à supporter des constructions, à offrir des continuités écologiques et un développement de la végétation participant à la régulation climatique au niveau de la ville. Deux acteurs de l'urbanisme opérationnel indiquent par ailleurs le fait que parfois, les sols urbains présentent des propriétés bio-physico-chimiques optimales pour le développement de la végétation. Enfin, un acteur de l'urbanisme opérationnel souligne également le rôle positif du sol dans la création de lien social entre les habitants d'un même quartier.

Tableau 15 : Contraintes et opportunités des sols urbains lors de la définition d'un projet urbain

	Thématiques	Nombre de citations
Contraintes	Faible perméabilité	6
	Pollution	5
	Coût induit par déplacement / traitement	5
	Faible qualité bio-physico-chimique	4
	Considération des caractéristiques géotechniques	4
	Encombrement existant des souterrains	3
	Coût de l'anticipation des gestions des futurs espaces	3
	Coût du foncier	2
	Coût de la méconnaissance du sol	2
	Hétérogénéité des sols sur un site de projet urbain	1
	Non intégration des propriétés bio-physico-chimiques dans les cahiers des charges	1
Opportunités	Sol comme matière meuble, modifiable	5
	Modes alternatifs de gestion des eaux	3
	Support pour la construction de la ville	2
	Continuités pour la faune et la flore	2
	Régulation du climat local	2
	Support de végétation	2
	Techniques alternatives de gestion des sols	2
	Bonne qualité bio-physico-chimique	2
	Lien social	1
	Sol comme épaisseur, possibilité de cacher les parkings	1

La perception des fonctions et services rendus par les sols urbains par les acteurs opérationnels

Lors de la campagne d'entretien, les acteurs de projets urbains ont été amenés à énumérer eux-mêmes les services rendus par les sols urbains qu'ils jugent prioritaires lors du développement d'un projet urbain. Il en ressort que le sol permet de garantir le développement des végétaux, doit être support de ce qu'ils ont appelé le système géographique (*e.g.* paysage, espaces verts, espaces publics, espaces privés, infrastructures) et doit participer à la gestion de l'eau, ainsi qu'à la régulation du climat local (Figure 64).

Dans un second temps, une liste de services écosystémiques potentiellement rendus par les sols en milieu urbain leur est proposée pour qu'ils leur attribuent une note (Figure 65). Les acteurs interrogés allèguent alors majoritairement que le sol urbain peut : (i) participer à la régulation des aléas naturels (érosion, inondation surtout) (4,2/5), (ii) permettre le développement de ressources ornementales (4,2/5), (iii) garantir le support d'infrastructures (4,1/5) et (iv) le support des activités humaines (4,1/5), (v) être un lieu d'habitat pour la biodiversité (4/5) et enfin (vi) permettre la bonne gestion des eaux (3/5) (Figure 65). D'autres services leur semblent beaucoup plus secondaires : (i) la production d'énergie (2,1/5), (ii) la production de biomasse (2,7/5), (iii) la régulation de la qualité de l'air (2,8/5) et iv) la régulation du climat global (2,9/5). Au vu des discussions lors des entretiens, il apparait évident que ces services sont beaucoup moins connus que les précédents par les acteurs de projets urbains.

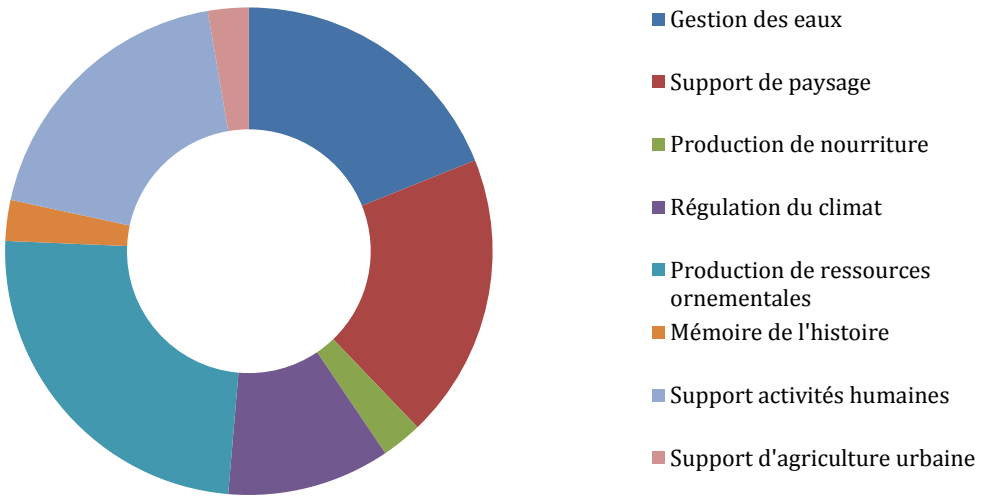


Figure 64 : Principaux services considérés par les acteurs de projets urbains (services exprimés)

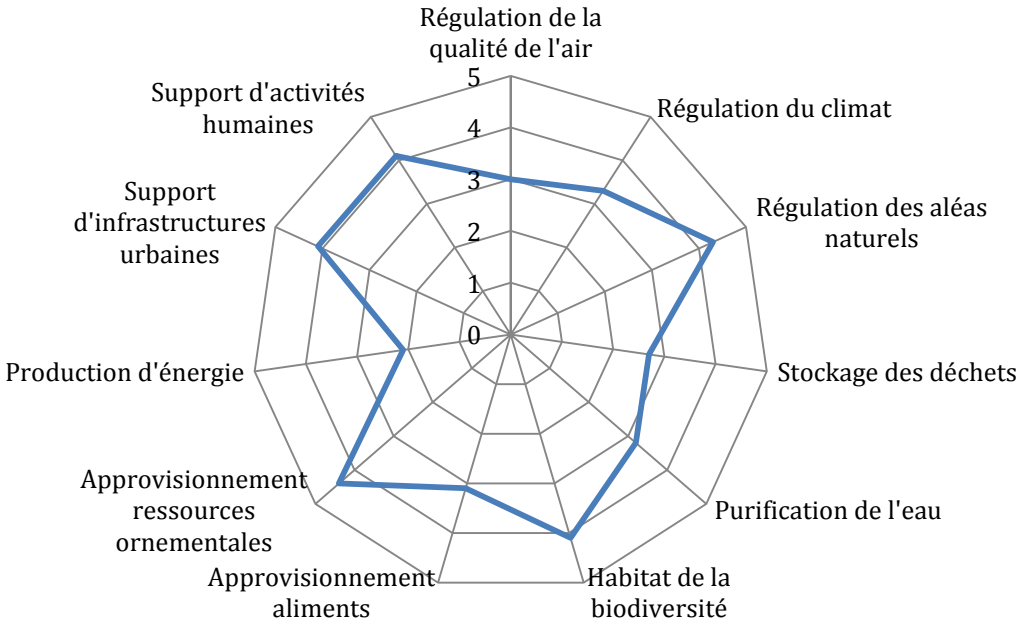


Figure 65 : Services considérés comme importants par les acteurs de projets urbains (services notés)

III.2. Discussion

III.2.1. L'émergence d'une prise de conscience d'une nécessaire protection des sols naturels

La protection des sols naturels

En France, l'évolution des prises de conscience et des réglementations induit une protection des sols naturels, jugés fonctionnels, de qualité et essentiels à la viabilité des sociétés humaines (Figure 66).

A ce titre, il semble important de souligner que les documents de la planification territoriale sont édités à l'échelle d'un territoire donné (*e.g.* commune, intercommunalité, région) et pour une thématique précise (Collectivités locales, n.d.). A ce titre, il est intéressant de se rendre compte que les documents intercommunaux et régionaux traitent davantage des sols naturels, forestiers et agricoles ; de manière sensiblement différente du PLU dont le sujet principal est les sols urbains. Or, les résultats de l'analyse lexicale mettent en évidence le fait que les occurrences de « sol-ressource » sont les plus importantes dans les documents de planification d'échelles intercommunale et régionale. Ceci met en avant le fait que ces documents de planification considèrent les sols naturels comme des systèmes en trois dimensions.

De plus, l'analyse lexicale des documents d'urbanisme révèle que les occurrences des sols naturels font référence, pour la plupart, aux opportunités qu'offrent ces sols

pour les populations humaines. En effet, ces sols sont décrits comme des ressources permettant notamment de nourrir la population, de protéger la biodiversité ou encore de participer à la régulation du climat global en stockant du carbone. A ce titre, les SCoT, SRCE et SRCAE des aires urbaines étudiées soulignent l'intérêt à protéger les sols agricoles et forestiers de toute anthropisation, afin de préserver leur qualité et donc ces opportunités.

Ces éléments de résultats sont en adéquation avec le fait que l'enjeu de préservation des sols naturels dicte depuis quelques années les stratégies de planification territoriale (Béchet *et al.*, 2017). En effet, les pouvoirs publics appellent (i) à la construction d'espaces densément peuplés et déjà urbanisés, (ii) au réaménagement de friches urbaines, (iii) à la dépollution de friches industrielles ou encore (iv) à la protection des espaces agricoles, boisés et naturels, en vue de limiter l'urbanisation des sols agricoles et forestiers (loi Alur, 2014) (Légifrance, n.d.). En lien avec cette nouvelle façon de penser le développement urbain d'un territoire, des enjeux de reconstruction de la ville sur elle-même et de densité urbaine ont émergé dans la planification territoriale (Figure 66). Ces enjeux ont également été traduits à l'échelle de l'opération urbaine, par la mobilisation des concepts de densité et de compacité (Figure 66). La densité de logements fait référence au nombre de logements sur une superficie donnée, peu importe leur forme et leur agencement. La compacité fait, elle, référence au rapport entre les surfaces bâties et celles non bâties (Banister et Hickman, 2006).

Le développement réfléchi de projets en extension urbaine

Si la protection des sols naturels est un véritable enjeu de la fabrique urbaine actuellement, il arrive parfois que les stratégies de développement d'une aire urbaine, en fonction de la planification de ses besoins, nécessitent l'urbanisation de sols jusque-là faiblement anthropisés (Abachi, 2002)[1]. Force est de constater cependant que ces projets d'extension urbaine sont aujourd'hui de plus en plus réfléchis et respectent un certain nombre de conditions liées notamment à la protection environnementale (*e.g.* densité de logements, diversité des fonctions, mixité sociale) (IAUIF, 2010).

[1]**Aménageur – MGN :** le foncier n'est pas toujours disponible en centre urbain, ce qui nous oblige à urbaniser des territoires agricoles. Mais on est toujours partagé entre l'aspect économique et l'intérêt général. Je pense qu'une opération comme La Haie Cerlin, qui a été initiée en 2007, donc ça fait 10 ans maintenant, ne sortirait certainement plus aujourd'hui. Je pense qu'aujourd'hui on réfléchirait davantage à ce qu'on fait sur ce site, à cet endroit, et à la possibilité de plutôt faire ce projet à un autre endroit. En 10 ans, je pense que les choses ont évolué assez sensiblement.

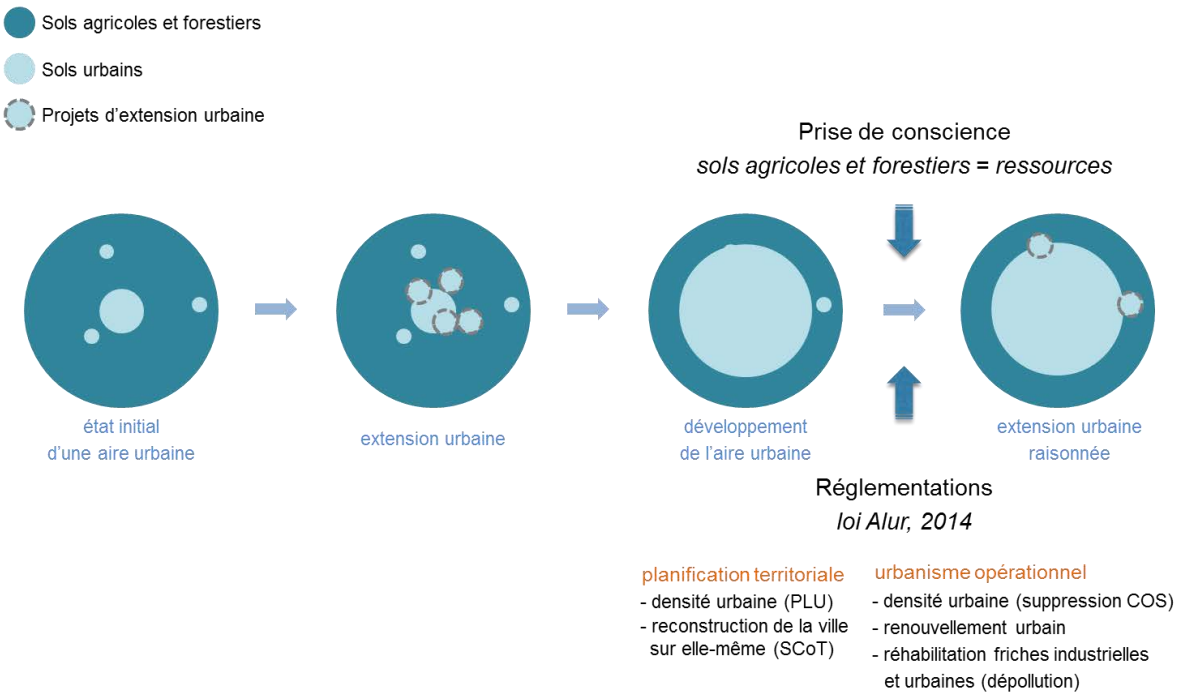


Figure 66 : Présentation des enjeux de la protection des sols naturels
et leur traduction dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel

III.2.2. L'utilisation raisonnée des sols naturels

Les sols naturels : un meilleur potentiel que les sols urbains

Au cours du développement d'un projet d'extension urbaine, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont la possibilité de disposer d'un volume de terre végétale pouvant être utilisée pour d'autres opérations d'aménagement urbain (Figure 67). Dans la majorité des cas, ces projets d'extension urbaine concernent des constructions de logements, commerces ou équipements. C'est le cas notamment de La Haie Cerlin (MGN), de Sainte-Marthe (MAMP) et du Champ de Manœuvre (NM). La construction de bâtiments impose alors aux acteurs des travaux publics de décaper les quelques premiers centimètres des sols naturels, afin de les préparer à l'accueil de logements, commerces et/ou équipements. Ces premiers centimètres de sol correspondent à ce qui est communément appelée la « terre végétale » et ne sont pas, pour la plupart des projets d'extension urbaine, réutilisés intégralement sur site. Ainsi, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont, au fur et à mesure, développé des stratégies et saisi l'opportunité d'utiliser cette terre végétale, jugée - de manière intuitive – qualitative et fonctionnelle, sur leurs sites de projets en milieu urbain dense, dans le but de répondre à de nombreux enjeux spécifiques de l'aménagement des milieux urbains.

A ce titre, les résultats des entretiens effectués avec les professionnels de l'urbanisme opérationnel indiquent que ces derniers utilisent des apports de terre végétale pour répondre notamment à des enjeux de développement de végétation[2]. En effet, quand l'objectif d'un projet d'aménagement localisé en milieu urbain est lié à la création d'un parc ou au développement

d'un jardin partagé, des apports de terre végétale sont réalisés afin de permettre un développement végétal optimal. Ces apports de terre végétale sont également utilisés pour remplacer les sols pollués des sites urbains[3] (Figure 67).

[2]**Aménageur – MGN** : on a essayé de trouver un débouché sur la terre de la deuxième tranche. Donc je crois que sur les 2000 m^3 de terre végétale décapée, 1500 m^3 sont récupérées par la Métropole, et l'entreprise d'espaces verts qui travaille pour notre compte récupère les 500 m^3 restants. Ils la réutilisent pour leurs projets d'espaces verts, pour des plantations. C'est de la terre qui est de bonne qualité.

[3]**MOE – MGN :** sur la question des déblais/remblais, on est souvent confronté à la question des terres polluées, on se pose la question tout de suite quand on doit excaver une partie d'un terrain.

Ces discussions menées lors des entretiens avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel permettent également de comprendre que ces stratégies de réutilisation de terre végétale sur site urbain à aménager ont conduit ces acteurs à s'intéresser à la qualité biologique, physique et chimique des sols. Ces acteurs ont en effet confié que, lors d'un apport de terre végétale, des analyses de sols physico-chimiques sont systématiquement réalisées par des bureaux d'études spécialisés. Ceci leur permet de connaitre la qualité de la terre apportée sur site de projet[4]. Cet élément de connaissance, acquis généralement au cours des phases en amont du projet urbain, est jugé essentiel par les acteurs de l'urbanisme opérationnel. Il leur permet en effet de s'assurer que les potentiels de la terre végétale utilisée sur site urbain sont bien compatibles avec les attentes du projet urbain (*e.g.* développement de végétation).

[4]**Aménageur – MGN** : oui, aujourd'hui c'est important de connaitre la nature physico-chimique de la terre végétale qu'on amène sur site. Alors c'est par l'intermédiaire d'entreprises, c'est-à-dire qu'on a l'entreprise qui est recrutée, elle doit, dans le cadre des cahiers des charges qui sont écrits par notre MOE, donner les éléments qui caractérisent la terre végétale qu'elle va apporter.

[4]**Aménageur – MAMP** : alors quand on a besoin d'une terre particulière, on va être plus proactif. C'est-à-dire que l'on va demander au MOE dans un cahier des charges le niveau de la qualité de la terre dont on a besoin. Et on va vérifier quand la terre arrive, demander à des BET de vérifier sous le contrat du MOE que la terre est bien bonne et conforme.

Les contraintes imposant une utilisation rationnelle de la terre végétale

Depuis quelques années maintenant, une utilisation raisonnée de la terre végétale sur site de projet en milieu urbain s'est développée[5]. Cette utilisation raisonnée s'explique par plusieurs facteurs (Figure 67).

[5]**MOA – MAMP** : moi de ce que je sais, de ce que j'entends dans les réunions, c'est qu'on limite au maximum le bouleversement du sol, et on limite au maximum le déblai et le remblai. Ce que je sais c'est qu'ils essaient de les emmener au moins loin du site et qu'ils essaient de les réutiliser.

[5]**Aménageur – MGN :** si on avait un projet, je le dis comme ça, où c'est open bar, vous avez le budget illimité, on n'irait pas faire un balai de camions.

Tout d'abord, l'urbanisation des aires urbaines et l'étalement urbain qui lui est lié ont éloigné les frontières de l'aire urbaine des pôles urbains. De plus, dans une logique de protection des sols agricoles et forestiers, les projets d'extension urbaine sont moins fréquents qu'il y a quelques années. Ces deux éléments ont ainsi conduit, au fil du temps, à une disponibilité plus rare de la terre végétale. Ceci a notamment participé à rendre le marché de la terre végétale plus tendu, entrainant un coût sensiblement plus élevé de cette ressource[6] (Figure 67).

[6]**Aménageur – NM** : oui, ça commence à émerger. Ça a commencé pour des raisons purement économiques je pense au départ. Notamment avec la question de la pollution, mais aussi avec l'évolution des réglementations.
[6]**Aménageur – MGN** : il y a des endroits en France où la terre végétale a une grande valeur car effectivement on en trouve peu. Chez nous ce n'est pas très tendu. Donc au final c'est quelque chose qui a de la valeur en soi, mais il faut presque payer quand on en a en excédent.
[6]**MOA – MAMP :** la terre végétale il y en a de moins en moins… il y a des matériaux qui se font de plus en plus rares, tel que le sable… et la terre végétale en fait partie.

Cet argument économique est, depuis quelques années maintenant, amplifié par l'émergence du développement durable. En effet, pour des questions de budget mais également dans le but de respecter les principes du développement durable, les acteurs des projets urbains tendent à limiter les apports de terre végétale afin, notamment, de limiter la circulation des camions au cours des chantiers d'aménagement[7] (Figure 67).

[7]**Aménageur – MGN** : oui, d'une part parce que ça participe au développement durable. Clairement si on arrive à gérer la ressource sur site ça évite les coûts de transport. Bon après c'est clairement de l'économie de projet, mais ça participe aussi à limiter les émissions de CO_2 de transport. On diminue le nombre de camions circulant sur la route donc on a un moindre impact sur les émissions de CO_2.

L'ensemble de ces éléments imposent aujourd'hui aux professionnels de l'urbanisme opérationnel d'avoir une utilisation raisonnée et rationnalisée de la ressource en terre végétale, les conduisant alors à développer des stratégies de réutilisation des sols anthropisés directement sur sites de projets urbains[8]. Au cours des entretiens, les acteurs de l'urbanisme opérationnel citent à ce titre quelques exemples de stratégies mises en place afin de réutiliser sur site les sols anthropisés : traitement à la chaux, ajout de ciment, confinement du sol pollué (*e.g.* bâche, création de parkings) et même phytoremédiation (Figure 67). S'il s'avère que ces contraintes économiques entrainent une considération volumique des sols des sites de projets, il s'avère également que cette considération se fait uniquement dans une logique de réutilisation de ces sols comme matériau de remblai. Les sols urbains ne sont que très rarement, voire pas du tout, utilisés par les acteurs de projets urbains comme un matériau permettant un développement de la végétation, leur préférant aujourd'hui encore des apports de terre végétale. Ce résultat traduit le fait que pour ces acteurs, les sols urbains

n'ont pas une qualité équivalente à celle de la terre végétale, du moins en ce qui concerne l'enjeu du développement de la nature urbaine.

[8]**Aménageur – MGN** : en général, à partir d'une certaine ampleur de l'opération, il y a quand même une réflexion qui est menée sur les hypothèses de réutilisation en place, avec un traitement de sol, à la chaux, au ciment. En général on demande que ce soit étudié en amont.

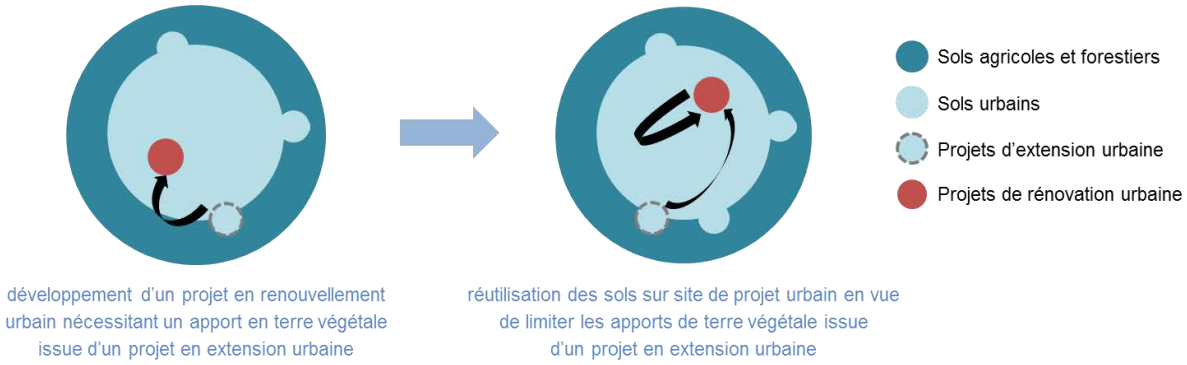


Figure 67 : Evolution de l'utilisation des sols naturels en réutilisation des sols urbains sur site de projet

III.2.3. La considération des sols urbains prend de l'épaisseur suite aux évolutions réglementaires imposées à la planification du territoire et à l'urbanisme opérationnel

L'analyse lexicale des documents d'urbanisme ainsi que les entretiens et l'atelier réalisé avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel tendent à confirmer, qu'au fil du temps, les acteurs de la fabrique urbaine ont davantage pris en compte dans leurs réflexions et stratégies la troisième dimension (verticale) des sols urbains (Figure 68). Pour répondre à certains enjeux du développement urbain, mais surtout pour prendre en compte les évolutions réglementaires[9], les acteurs de la fabrique urbaine ont pris conscience du besoin qu'ils avaient que le compartiment sol soit fonctionnel (*e.g.* portance, infiltration des eaux). A ce titre, les résultats de ce chapitre tendent à démontrer que ces acteurs ont développé une vision systémique des sols urbains, ne les considérant plus uniquement comme une réserve foncière (Figure 68). Cette évolution tend à rapprocher la définition donnée au sol urbain par les acteurs de la fabrique urbaine à celle des pédologues : le sol, pour ces deux disciplines, est un système en trois dimensions. Une différence persiste cependant entre les deux définitions : si les pédologues considèrent le sol comme un système distinct du matériau-parent géologique, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont tendance à considérer le sol comme le matériau situé entre 0 et 2 mètres, englobant à la fois le sol du pédologue et le matériau-parent.

[9]**Aménageur – NM :** d'ailleurs ce sont des études réglementaires, on est obligé de les faire, on fait des études pédologiques, des sondages hydrologiques, des investigations faunes-flores, qui nous obligent à considérer le sol comme un système avec de l'épaisseur.

[9]**Aménageur – MGN :** ce sont souvent des études qui découlent des textes de loi, donc du code de l'Environnement, la loi sur l'eau, les études d'impact.

La considération de la portance des sols urbains

La considération des sols urbains en tant que volume se fait à travers la nécessité, pour la viabilité des infra- et super structures, de connaitre les potentialités géotechniques des sols urbains[17]. Les acteurs de projets urbains soulignent à ce titre que lors des phases en amont d'un projet d'aménagement, il est systématiquement réalisé un diagnostic des caractéristiques géotechniques des sols urbains, afin d'obtenir des informations concernant le niveau de portance des sols[18] (Philipponnat et Hubert, 1997) et de s'assurer que les caractéristiques des sols en place sont, ou non, compatibles avec leur futur usage. Si ce n'est pas le cas, alors des traitements du sol et des installations de pieux ou micropieux peuvent alors être faits.

[17]**Aménageur – MGN** : la question du sol elle est d'abord technique : le sol est le support des aménagements que l'on va réaliser, donc aussi bien pour des infrastructures (*e.g.* voiries, réseaux), que pour des bâtiments qu'on va faire construire sur le dessus.
[17]**Aménageur – MGN :** un sol va être étudié d'un point de vue géotechnique, donc ses qualités vis-à-vis des charges qu'il peut recevoir.
[18]**MOA – NM :** sur une opération comme cela, on a un budget de 150 000 euros pour réaliser les études géotechniques et environnementales.

La considération du caractère pollué des sols urbains

Le caractère pollué d'un sol est devenu un critère nécessaire à considérer dans le développement d'un projet urbain (loi Alur, 2014) (Légifrance, n.d.), participant ainsi davantage à considérer les sols urbains comme un système en trois dimensions[10]. Ce critère de pollution est l'un des premiers critères considéré dans les phases amont d'un projet urbain, comme en témoignent les diagnostics de pollution[11] réalisés au cours de la phase d'avant-projet (AVP) (ADEME, 2014). Ces diagnostics sont effectués de manière plus ou moins approfondie (*e.g.* utilisation de ressources documentaires et de bases de données, réalisation de prélèvements et analyses des échantillons) par des bureaux d'études spécialisés en sites et sols pollués. Les acteurs de l'urbanisme opérationnel, par la conduite de ces diagnostics de pollution, s'affranchissent de toutes surprises révélées au cours du projet et s'assurent d'avoir un sol dont la qualité est compatible avec les usages futurs et permettant de garantir l'innocuité sanitaire des populations. Il est à savoir que le niveau de pollution des sols d'un site de projet a un impact sur la faisabilité du projet[12], sur les choix stratégiques retenus pour sa définition ainsi que sur le budget général de l'opération[13]. Ce niveau de pollution, s'il s'avère incompatible avec les usages envisagés, impose des travaux de gestion (*i.e.* confinement, traitement *in situ*, excavation et traitement sur site ou envoi vers un centre

de traitement ou d'enfouissement) qui peuvent s'avérer coûteux pour la maîtrise d'ouvrage (ADEME, 2014).

> [10]**MOE – MGN** : en fait, quand on se pose la question de la qualité des sols, c'est plutôt d'un point de vue sécurité, en se disant il y a une autorité compétente environnementale, qu'il y a des règles et on doit y répondre. Donc on va vérifier que les sols se prêtent à l'aménagement.
> [11]**Aménageur – MAMP :** on nous demande énormément d'études de reconnaissance au niveau pollution des sols. On nous demande également des prélèvements de gaz de sols.
> [12]**MOA – MAMP :** pour moi, le diagnostic de pollution me semble essentiel car il y a une question de dangerosité, liée à la notion de risque.
> [13]**MOA - MAMP** : en fait, l'aspect sol est… la porte d'entrée est la pollution, pour savoir dans quelle catégorie de décharges on les envoie. Mais pas sur la qualité intrinsèque.

A y regarder de plus près, cette considération volumique du sol, notamment à l'échelle opérationnelle, semble fortement induite par des contraintes réglementaires[14]. En effet, la considération volumique du sol liée à la pollution est traitée dans le Grenelle II, qui indique que les informations dont dispose l'Etat sur les sites et sols pollués doivent être intégrées dans les documents d'urbanisme (ADEME, 2014). De plus, le cadre réglementaire de la gestion des sites et sols pollués découle essentiellement du Livre V du Code de l'environnement qui traite de la prévention des pollutions, des risques et des nuisances (Légifrance, n.d.). Plusieurs lois et règlements du Code de l'Environnement ont trait à cette thématique des sols pollués (L.511-1, L.514-20, L.541-1, R.512-74-III, R.572-76, R.512-78) (Légifrance, n.d.). Dernièrement, la loi Alur, par son article 173, renforce le cadre juridique de la politique nationale de gestion des sites et sols pollués initiée en 1989, notamment en renforçant l'obligation d'avoir accès à l'information sur la pollution des sols, par la création des secteurs d'information sur les sols (SIS) (Légifrance, n.d.).

> [14]**MOA - MAMP** : le seul intérêt à la pollution c'est qu'il y a une obligation de dépollution derrière.

La considération du pouvoir filtrant des sols urbains

La nécessité de développer des stratégies de gestion des eaux oblige les acteurs de l'urbanisme opérationnel à considérer les sols urbains comme un système en trois dimensions[15]. En effet, l'objectif d'un projet urbain est de limiter les risques d'inondation et de ruissellement (Deroubaix *et al.*, 2015), en considérant le potentiel filtrant des sols urbains ou en élaborant des stratégies de gestion des eaux à la parcelle (*e.g.* noues) ou à l'échelle de l'ilot urbain (*e.g.* bassins de rétention). A ce sujet, les professionnels de l'urbanisme opérationnel sont conscients du rôle d'éponge offert par le sol, comme en témoigne le fait qu'ils réfléchissent toujours en amont du projet à la superficie nécessaire d'espaces non construits pour permettre une infiltration des eaux pluviales. Ces éléments imposent aux professionnels de l'urbanisme

opérationnel de réaliser des analyses de sol afin de déterminer, en phase amont, leur potentiel d'infiltration[16].

> [15]**MOE – MGN :** en ce qui concerne les eaux pluviales, sur la question de l'hydraulique, de l'assainissement et donc la gestion des eaux pluviales… c'est une question que l'on se pose effectivement du début à la fin du projet. C'est un élément que l'on doit prendre en compte très en amont du projet, en vérifier la faisabilité technique, et mettre en œuvre ce projet pour qu'il intègre la gestion des eaux pluviales.
>
> [16]**Aménageur – NM :** et puis on a mené des études sur l'eau. Car il y a le côté hydraulique aussi qui est important, le fait qu'il y ait des nappes proches de la surface, des zones humides, etc. Ces études ont donc été menées en phase amont du projet.

Cette considération volumique des sols urbains en lien avec cette gestion des eaux est fortement liée à des enjeux de sécurité des populations et de réglementation. Il existe en effet de nombreux textes de lois qui obligent un développement de stratégies de gestion des eaux sur site de projet urbain, énoncées dans le Code Civil (Articles 640 et 641) (Légifrance, n.d.), le Code de l'Urbanisme (L.421-6, R.111-2, R.111-8, R.111-15) (Légifrance, n.d.) et le Code de l'Environnement (R.214-1) (Légifrance, n.d.). L'importance de la gestion des eaux est également discutée dans l'aménagement du territoire, à travers le document de planification qu'est le SDAGE, instauré par la loi sur l'eau de 1992 (Légifrance, n.d.).

La considération de la biodiversité des sols urbains

En France, le Grenelle de l'Environnement impose la création d'une TVB pour préserver les continuités écologiques (Grenelle 1 ou I articles 23 et 24, Grenelle 2 ou II article 121) (Légifrance, n.d.), ainsi que l'intégration dans les SCoT et les PLU d'objectifs en matière de la préservation de la biodiversité (Grenelle 1 article 7d, Grenelle 2 article 121). Ces évolutions réglementaires obligent alors les territoires à intégrer ces nouveaux enjeux dans leur développement territorial, comme en témoigne l'apparition des SRCE et SRCAE, deux documents obligatoires depuis 2009 (Le Grenelle de l'Environnement, 2010) (Légifrance, n.d.). Par ailleurs, la loi pour l'accès au logement et à un urbanisme rénové (loi Alur, 2014) (Légifrance, n.d.) introduit la notion de coefficient de biotope (ADEME, n.d.). A ce titre, la considération de la biodiversité et de l'environnement plus largement dans les réflexions de l'aménagement du territoire induit alors aux PLU la possibilité d'imposer une part minimale de surfaces non construites, non imperméabilisées, qui doit être respectée dans le développement de projet urbain. L'étude des documents d'urbanisme et de la littérature souligne alors le fait que la considération plus importante de la biodiversité induit une considération des sols en trois dimensions.

Ces dernières années, le service biodiversité, et plus largement l'environnement, domine ainsi la nouvelle orientation des documents de planification à l'égard du sol. Ceci se décline également à l'échelle du projet urbain. En effet, les entretiens ainsi que l'atelier sur les sols urbains réalisés

avec les professionnels de l'urbanisme opérationnel soulignent une plus grande attention portée aux enjeux de protection de la biodiversité, de développement de la nature en ville et des TVB[19]. Ces enjeux environnementaux induisent une considération volumique des sols urbains lors du dessein d'un projet (Mehdi *et al.*, 2012), liée notamment à la considération du potentiel de fertilité des sols. Cependant, cette considération du sol urbain comme ressource fertile s'avère anecdotique et reste ainsi à relativiser. Aujourd'hui encore, lorsqu'un projet d'aménagement urbain nécessite le développement de végétation, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont souvent recours à un apport de terre végétale issue des milieux naturels. La réalisation d'analyses de fertilité intervient ainsi, dans la plupart des cas, uniquement pour des sols naturels, venus remplacer les sols urbains, jugés non aptes au développement de végétaux[20].

[19]**Aménageur – MGN :** comme on aménage des espaces publics, il y a aussi la dimension paysagère : le sol c'est aussi le support des plantations, des aménagements d'agréments qu'on va faire sur le site.

[19]**MOA – NM :** là où on est en train de changer nos pratiques, c'est qu'on imagine aussi dans le cadre de ce projet de renouvellement, de rendre à sa culture certains espaces. Donc le sol nous amène aussi aux questions de pollution, de cultivabilité, de fertilité. Donc aujourd'hui j'élargis le champ. D'autant que dans le cadre du projet on imagine une remise en culture.

[20]**Aménageur – MGN :** oui, c'est important pour nous de connaitre la qualité des terres qui arrivent sur site, pour ensuite savoir s'il est nécessaire d'amender ou pas, pour le développement des végétaux.

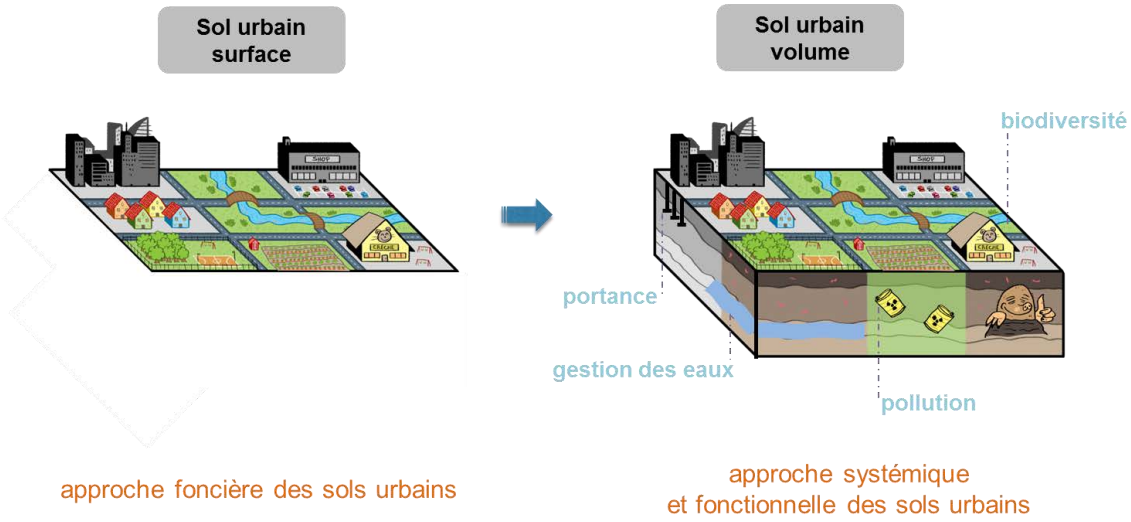


Figure 68 : Développement d'une approche systémique et fonctionnelle des sols urbains dans la fabrique urbaine

III.2.4. La considération limitée des sols urbains comme ressource pour répondre aux enjeux de la fabrique urbaine

Si les professionnels de la fabrique urbaine ont su développer une vision du sol urbain comme système fonctionnel (courbe rouge de la Figure 69), les résultats de ce chapitre indiquent que cette approche systémique ne leur permet pas encore d'appréhender l'intégralité des bienfaits offerts par les sols urbains (Blanchart *et al.*, 2018b). En effet, aujourd'hui, la considération des sols urbains comme ressource (courbe orange de la Figure 69) se fait de manière très ponctuelle, au cas par cas, résultant notamment de la sensibilité de l'acteur de projet concerné.

Les sols urbains, systèmes complexes et sources d'imprévus pour les acteurs de la planification territoriale et de l'urbanisme opérationnel

Les entretiens réalisés avec les professionnels de l'urbanisme opérationnel ainsi que l'analyse de la littérature tendent à souligner que les évolutions réglementaires ayant trait à la gestion des eaux, à la protection de la biodiversité ou encore au traitement des sols pollués, sont perçues par les acteurs des projets urbains comme des contraintes pour la définition d'un programme d'aménagement[21] (Madureira et Cormier, 2014). Etant donné que ces contraintes sont intrinsèquement liées aux sols urbains, elles participent ainsi à ce que les sols urbains soient perçus à leur tour comme des éléments contraignants lors du développement d'un projet urbain. Les acteurs de l'urbanisme opérationnel perçoivent les sols urbains comme des systèmes complexes, souvent source de surprises qui émergent tout au long des phases de projets, pouvant remettre en question le plan masse du projet[22]. Or, en phase chantier, l'objectif des acteurs de projets urbains est de réduire au maximum l'incertitude sur les sols urbains, afin de ne pas engendrer de coûts supplémentaires pour le développement de l'opération urbaine.

[21]**MOA – MAMP :** on a tellement de réglementations qui s'empilent les unes sur les autres que l'on se dit qu'une réglementation est un gage de qualité, mais quand elle devient obligatoire, ça peut très vite devenir une contrainte dans le travail et dans le fonctionnement.

[22]**Aménageur – MAMP :** l'expérience que j'en ai en tant qu'aménageur et considérant le contexte urbain très dense, me fait dire que pour moi, le sol, c'est compliqué. En général ça ressemble plus à une contrainte en fait, avec beaucoup de méconnaissances entre guillemets de ce qu'il se passe dessous la surface, et des surprises qu'on peut avoir. Moi je le vois plutôt effectivement avec beaucoup d'inconnues. Jusqu'au dernier moment on a toujours des surprises.

[22]**MOA – MAMP :** la caractérisation des sols se fait toujours par sondage, donc on est sûr d'avoir des surprises en fait. On a toujours au cours d'un projet une appréhension par rapport à ce qu'on a imaginé, en tout cas techniquement. Le sol c'est finalement une des principales sources d'aléas, même après la réalisation, en infrastructures et tout.

De plus, l'analyse lexicale des documents d'urbanisme tend à souligner le fait que les sols urbains ne sont pas considérés dans la planification territoriale comme source d'opportunités pour les populations. Les documents de planification discutent de la possibilité qu'ont les sols agricoles et forestiers de participer au bien être de la population en produisant de la biomasse alimentaire, en stockant du carbone ou encore en infiltrant l'eau. Il s'avère que ces opportunités offertes par les sols naturels ne sont pas considérées lorsque sont mobilisés les sols des milieux urbains, qui paraissent alors incapables de constituer des éléments de réponses aux enjeux environnementaux urbains. Toutes les potentialités offertes par les sols urbains ne sont ainsi pas considérées par les acteurs de l'urbanisme opérationnel, expliquant le fait que prévaut encore aujourd'hui la vision des sols urbains comme des systèmes « fonctionnels » (Figure 69).

La faible considération des caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains au cours des projets d'aménagement urbain

Comme discuté précédemment, la considération du sol en tant que volume dans l'urbanisme opérationnel et la planification territoriale est fortement liée à des enjeux réglementaires et économiques. A ce titre, les considérations apportées aux sols, et notamment ceux des milieux urbains, sont dans la majorité des cas liées à des aspects de risques, faisant donc appel à des compétences en pollution, géotechnique et gestion des eaux[23].

> [23]**MOA – MAMP** : les compétences en sol lors d'un projet urbain sont plutôt orientées pollution. Je ne sais pas… un agronome… A moins effectivement dans le cadre d'un aménagement d'espaces verts où l'on souhaite faire par exemple des zones potagères, où l'on souhaite planter, cultiver et récolter des choses, là peut être que ça pourrait avoir un intérêt d'avoir quelqu'un d'un peu plus spécialisé sur la nature des sols et la compatibilité de ces sols avec un usage très particulier. Mais en général même quand on fait des plantations ce sont des plantations d'arbres… plutôt décoratifs.

Dans la plupart des cas, le développement d'un projet urbain n'implique pas la mobilisation d'experts ayant des compétences en analyses des caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains, notamment liées à la fertilité des sols des milieux urbains. Ceci peut être expliqué par le fait que généralement, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ne considèrent pas le sol urbain comme une ressource fertile, pouvant ainsi répondre aux enjeux du développement urbain. C'est pourquoi ils préfèrent substituer ces sols par des sols agricoles, jugés fonctionnels Mais cela peut également être expliqué par le fait qu'il ne semble pas exister d'experts, de bureaux d'études spécialisés dans cette thématique[24].

> [24]**MOE – MAMP :** il n'existe personne sur le marché aujourd'hui qui propose de tels diagnostics et qui est capable d'intégrer les données sol aux processus d'aménagement.
> [24]**MOE – MGN :** il existe des bureaux d'études spécialisés sur la question des sols, mais uniquement sur l'aspect géotechnique.

[24]**MOA – MAMP :** la chambre d'agriculture est spécialisée sur les questions de fertilité des sols, mais très orientée sols naturels, et pas forcément urbains.
[24]**MOE – MGN :** il n'existe aucun bureau d'études qui embrasse le sol en général.

De plus, le développement d'un projet urbain n'entraine pas systématiquement le besoin d'avoir recours à de telles compétences et expertises[25]. Les enjeux d'aménagement faisant intervenir la question du sol (*i.e.* gestion de l'eau, protection de la biodiversité, développement de la nature, pollution, géotechnique) sont les mêmes dans tous les projets urbains, qu'ils soient liés à la création d'un écoquartier, à un renouvellement urbain ou bien à l'extension urbaine. Ce sont davantage les objectifs du projet urbain qui ont une influence sur la considération de la qualité agronomique des sols d'un site de projet. Les professionnels de l'urbanisme opérationnel avancent à ce titre que quand les objectifs ont trait à l'aménagement de logements, de bureaux, de commerces ou d'infrastructures, la qualité agronomique des sols urbains n'est pas forcément une information essentielle à recueillir, les diagnostics de sols étant dans ce cas plutôt orientés vers leurs caractéristiques géotechniques. Ils soulignent alors que le diagnostic de la qualité des sols peut intervenir lorsque le développement du projet induit la création d'un espace vert, à vocation ornementale, ou bien la création de jardins potagers en vue d'une production de biomasse à vocation alimentaire. Mais dans ces cas-là, le diagnostic agronomique des sols urbains *in situ* n'est pas systématique, compte tenu de la possibilité d'apporter des terres végétales sur le site de projet, comme discuté précédemment.

[25]**Aménageur – MAMP :** pour moi, vu d'un peu loin, autant un diagnostic de pollution me semble essentiel, car il y a une question de dangerosité, liée à la notion de risque. L'analyse agronomique, la rendre systématique… pourquoi pas mais pour quoi faire ? Si on doit réaliser l'espace public, sûrement que c'est intéressant. Peut-être que par contre, si on réalise du bâti… là je ne sais pas. Il y a la question des paramètres à analyser selon ce que le site va accueillir ou non.

L'émergence d'un intérêt à considérer les caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains à l'échelle de l'urbanisme opérationnel

Les discussions avec les professionnels de l'urbanisme opérationnel tendent à démontrer qu'il semble émerger une sensibilité à la considération des caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains, permettant de développer une approche des sols urbains comme ressource, dépassant la vision uniquement « fonctionnelle » de ce système (la courbe orange tend à dépasser la courbe rouge de la Figure 69). Cependant, cet intérêt se fait aujourd'hui de manière très ponctuelle.

Tout d'abord, il est fortement lié à l'émergence de nouveaux besoins dans le développement de projets urbains. En effet, l'émergence des demandes de nature en ville (Mehdi *et al.*, 2012), de considération de la biodiversité ou encore de développement de jardins partagés en milieux urbains (Consalès, 2000) imposent aux acteurs de l'urbanisme opérationnel d'intégrer

de nouveaux éléments de programmation dans les objectifs de développement des projets urbains[26].

> [26]**Aménageur – NM** : là où on est en train de changer nos pratiques. C'est qu'on imagine aussi dans le cadre de ce projet de renouvellement, de rendre à sa culture un certain type d'espaces. Donc le sol nous amène aussi aux questions de pollution, de cultivabilité, de fertilité. Et on se demande aussi si on doit faire de la permaculture ou si on peut utiliser le sol en place tel qu'il est, ou est-ce qu'il faut le retravailler. On ne sait pas du tout aujourd'hui. Donc le sol, pour moi, est quelque chose qui a pris de l'épaisseur, de la dimension.

De plus, l'intérêt à considérer les propriétés biologiques, physiques et chimiques des sols des milieux urbains est également corrélé à la sensibilité et à l'intérêt personnel que présente l'acteur de l'urbanisme opérationnel sur ce sujet[27]. Les résultats des entretiens et de l'atelier sur les sols urbains soulignent le fait que plus l'acteur de projet urbain est sensibilisé aux problématiques environnementales, de gestion des sols urbains et de préservation de la ressource sol, plus la considération des qualités des sols urbains sera importante dans ses discours.

> [27]**Aménageur – MGN** : a titre personnel l'agronomie c'est quelque chose qui m'intéresse, donc je suis assez intéressé par la culture maraichère, que je pratique à titre personnel. Après effectivement, avec la casquette purement aménageur, ce ne sont pas des préoccupations majeures.

La formation suivie par l'acteur de projet au cours de ses études induit une plus grande considération des caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains lors du développement d'un projet urbain. En effet, les paroles des acteurs recueillies durant les entretiens semblent indiquer une plus grande attention à la qualité agronomique des sols de la part d'acteurs de maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage ayant suivi une formation en paysage et de la part d'acteurs travaillant dans le milieu des travaux publics[28]. Ceci peut s'expliquer par le fait que les paysagistes, au cours de leur cursus de formation, ont pour la plupart acquis des compétences sur le fonctionnement du sol, en lien avec la production de ressources ornementales[29]. Pour prendre l'exemple de l'Ecole Nationale Supérieur de Paysage (ENSP), il est intéressant de remarquer qu'initialement, la formation en paysage est fortement liée avec celle en horticulture, comme en témoigne le fait qu'avant de s'appeler ENSP, cette école portait le nom jusqu'en 1976 d'Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture (Leger-Smith, 2014). L'ENSP est aujourd'hui une école d'enseignement du projet, qui dans la continuité de la section du paysage et de l'art des jardins a redéfini ses relations avec les sciences horticoles et écologiques. Il existe ainsi un lien fort dans la formation dispensée aux étudiants d'une école de paysage entre l'acte de faire du projet et la considération des ressources naturelles d'un territoire, les disciplines enseignées dans une école de paysage étant relatives aux sciences humaines, au projet mais également aux sciences biophysiques

par exemple (Leger-Smith, 2014). Cette proximité de disciplines permet d'expliquer que l'intervention d'un paysagiste sur un site de projet urbain est très spécifique au site en question, à ses caractéristiques naturelles et morphologiques notamment. En effet, lors de son intervention sur un site de projet urbain, le paysagiste-concepteur semble apporter un grand intérêt au sol comme ressource, considérant que le sol est l'élément qui constitue le substrat sur lequel vont pousser les plantes et qui est en relation avec la gestion de l'eau et la biodiversité. Généralement, les analyses des projets témoignent du fait que le paysagiste-concepteur adapte sa stratégie d'aménagement au sol du site, en fonction de sa géologie, son caractère alcalin, neutre ou acide (Leger-Smith, 2014). Cependant, ces considérations au sol propres aux paysagistes ne tendent pas à ce que ces professionnels adoptent une démarche de limitation des apports de terre végétale (Leger-Smith, 2014).

> [28]**Aménageur – MAMP :** les paysagistes sont sensibilisés [aux caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains] !
> [29]**MOE – MGN (Paysagiste)** : en préalable on travaille d'abord le sol avant d'y planter le végétal, pour être certain qu'ils puissent bien se développer. On procède à tout ce qui est analyses de sol et amendements qui s'en suivent pour être sûr que ça marche derrière…
> [29]**MOA – MAMP (Paysagiste)** : le sol c'est la base, le support, et c'est l'élément incontournable dont on doit tenir compte au niveau des études et de la conception du futur projet qui sera aménagé, tout simplement. Parce qu'il y a un lien étroit entre le végétal et le sol.
> [29]**MOE – MAMP (Paysagiste)** : le sol c'est ce qui va supporter les structures végétales soit qui sont en place soit qu'on va mettre en place. Donc en général on est obligé de tenir compte de la nature des sols si on a à planter. Et si on est dans de l'entretien ou dans de l'amélioration d'une structure végétale en place on va essayer d'en tenir compte aussi.

Cette sensibilité est également le propre du métier de travaux publics[30]. En effet, les entretiens semblent témoigner qu'au cours de leur évolution professionnelle, au contact quotidien de ce système, les acteurs des travaux publics développent des méthodes empiriques qui leur permettent d'évaluer à l'œil nu la qualité d'un sol. En effet, en fonction de leur couleur, de leur compacité, de leur structure ou encore par comparaison avec d'autres sols d'une même aire métropolitaine, ces acteurs de l'urbanisme opérationnel sont aptes à définir les potentialités de chacun des sols étudiés. Cependant, les entretiens témoignent également du fait que cette forte proximité avec l'objet sol n'encourage pas les professionnels des travaux publics à impulser dans le cadre de la phase chantier du développement d'un projet urbain la réutilisation des sols *in situ* et la limitation des apports de terre végétale.

> [30]**BTP – NM** : il y a des indicateurs visuels. C'est vrai que quand on arrive il y a la présence ou non d'eau sur le terrain, on sait si on arrive sur des terrains humides s'il y a de l'eau, ou si on arrive sur des terrains avec de l'herbe de moindre qualité on saura qu'on est sur des terres plus pauvres. Ensuite, après, une fois qu'on terrasse, c'est à la dureté du sol, le premier indicateur c'est la dureté, la compacité du terrain naturel, ensuite la présence ou non d'argile, et puis ensuite comment le terrain se tient en lui-même :

est-ce qu'il est friable ou plutôt compact ? C'est vrai que nous on a tendance à aimer plutôt les terrains compacts, par rapport aux terrains friables qui vont être plus facilement sensibles à l'eau.

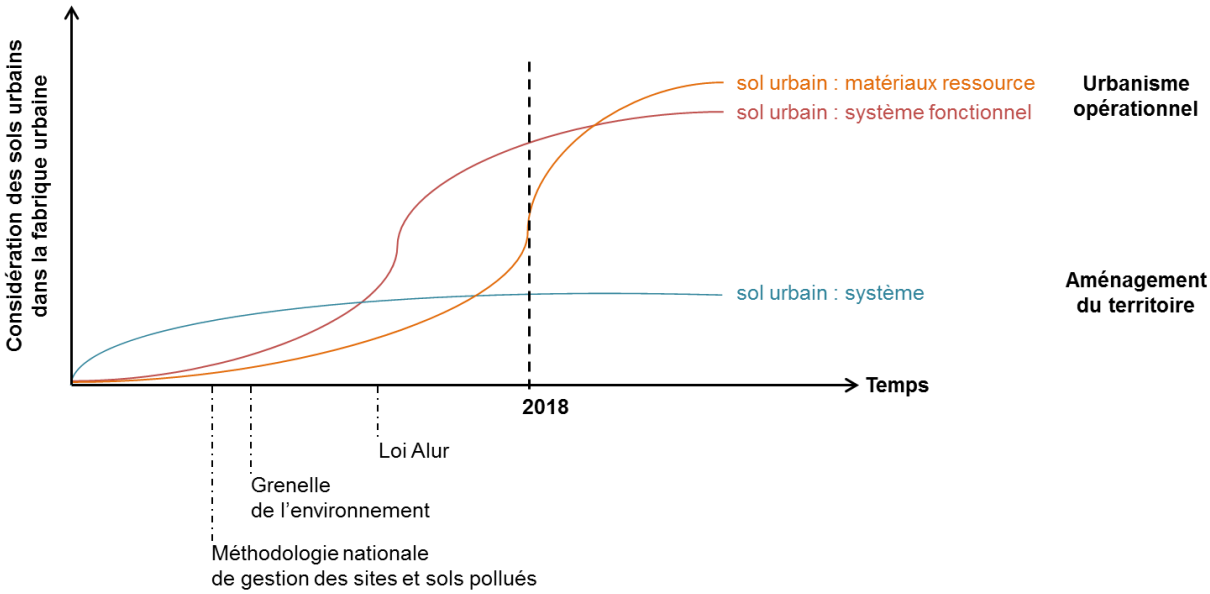


Figure 69 : Développement au cours du temps des visions « sols urbains systèmes fonctionnels » et « sols urbains matériaux ressource » dans la fabrique urbaine

La mise en évidence d'une dichotomie entre la planification territoriale et l'urbanisme de projet

Les résultats exploités dans la section précédente soulignent une fracture, au sujet de la considération des sols urbains, entre l'aménagement du territoire et l'urbanisme opérationnel, pouvant s'expliquer selon une approche top-down (aménagement vers urbanisme opérationnel) et une approche bottom-up (urbanisme opérationnel vers aménagement du territoire). Cette fracture réside certainement dans le fait que ce sont les documents d'urbanisme qui ont, au préalable, initié des considérations dans les pratiques de l'urbanisme opérationnel, mais que ces considérations opérationnelles ont par la suite, notamment en fonction des enjeux des projets urbains et des sensibilités des acteurs, dépassées celles prescrites dans les documents d'urbanisme.

Tout d'abord, les résultats permettent de mettre en exergue le fait que les acteurs de la fabrique urbaine ont su développer une approche systémique des sols urbains. A cet égard, certains acteurs de l'urbanisme opérationnel considèrent même, ces dernières années, les sols urbains comme une ressource, au même titre que les sols agricoles. Cependant, l'analyse des documents d'urbanisme ne semble pas traduire cette approche des sols urbains comme ressource dans l'aménagement du territoire (courbe bleue de la Figure 69) (Blanchart *et al.*, 2018b). Cette absence d'intérêt pour les potentialités des sols urbains dans les documents de planification peut notamment être expliquée par le fait que l'utilisation et la considération

du sol dans un document de planification français est fortement dépendante des prérogatives assignées au document d'urbanisme considéré (Blanchart *et al.*, 2018b). En effet, en France, les documents d'urbanisme sont édités sur une thématique en particulier (Collectivités locales, n.d.). Cette particularité des documents d'urbanisme français explique également pourquoi les occurrences de « sol-ressource » sont plus nombreuses dans le DOO des SCoT que dans le règlement des PLU. Le PLU est un document d'urbanisme qui garantit l'aménagement à l'échelle d'une commune. Ses thématiques de considération sont fortement liées à la question de la construction de bâtiments et d'infrastructure. Ceci explique pourquoi le règlement fait davantage référence au sol en tant que surface constructible, qu'en tant que ressource à protéger. De manière différente, le SCoT est un document de planification qui garantit le bon équilibre entre sols bâtis et sols naturels, agricoles et forestiers. Il est donc normal que pour ce document de planification, la pièce opposable aux tiers (DOO) fasse davantage référence au sol en tant que ressource qu'en tant que surface foncière.

Ces résultats permettent, à l'heure actuelle, et sans qu'elles aient pu être testées dans ce travail de doctorat, d'avancer un certain nombre d'hypothèses :

- le manque de traduction de l'intérêt à considérer les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains dans les documents de planification peut être dû au fait qu'il existe, à l'échelle du projet urbain, des personnes spécialisées sur la thématique sol, qui ne participent pas à la rédaction des documents d'urbanisme ;
- le manque de traduction de l'intérêt à considérer les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains dans les documents de planification peut être est lié à la dominance des prérogatives assignées à chaque document d'urbanisme. L'analyse des documents d'urbanisme permet alors indiquer que le SCoT est le document de planification le plus efficace pour traduire dans la réglementation les intérêts à considérer les sols des milieux urbains comme des systèmes à gérer de manière optimale. Ces considérations pourraient être en lien avec les prérogatives assignées à ce document d'urbanisme qui ont trait au rapport équilibré entre les sols naturels et les sols urbains (Collectivités locales, n.d.) ;
- la troisième hypothèse interroge le rôle des PLU intercommunaux (PLUi) dans cette transcription réglementaire. Le PLUi est un document d'urbanisme opérationnel qui résulte de la loi Alur (Légifrance, n.d.). Cet outil réglementaire prescriptif permet de considérer les politiques publiques territoriales à l'échelle de l'intercommunalité. La création des PLUi repose sur la prise de conscience des élus locaux et des pouvoirs publics de la nécessité de traiter à l'échelle locale des thématiques de la planification du territoire dont les échelles dépassaient considérablement le cadre communal. Le sol n'est-il ainsi pas un système dont la connaissance et considération

devrait dépasser les échelles communales ? Peut-être alors que l'émergence des PLUi permettra l'intégration de ce système dans les politiques publiques intercommunales. Il serait alors intéressant de réaliser un travail d'analyse lexicale sur ce document de planification intercommunale.

Enfin, la fracture existante au sujet des sols urbains entre l'aménagement du territoire et l'urbanisme opérationnel se traduit également dans le sens top-down. En effet, les résultats de ce chapitre avancent que certains acteurs de l'aménagement du territoire développent une considération importante pour les potentialités des sols urbains, qui se retrouve dans le discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel, mais qui ne semble pas exister dans la réalité du développement du projet urbain. A ce titre, les acteurs de l'urbanisme opérationnel de NM se montrent, de manière générale, plus intéressés par la considération des caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains[31] que les acteurs de MGN et MAMP. Ces acteurs soulignent le fait que cette considération grandissante provient de l'intérêt de plus en plus accru de la présidente de NM (Johanna Rolland) pour les questions de nature en ville. Il s'avère que Johanna Rolland, qui est également la Maire de la Ville de Nantes, est une personne qui promeut la durabilité et le respect de l'environnement pour le développement de son territoire. Ainsi, l'importance de considérer ces enjeux environnementaux se retrouve dans les discours des acteurs de l'urbanisme opérationnel travaillant au sein de NM[32]. Cependant, l'analyse des projets urbains développés au sein de NM met en exergue le fait qu'il ne semble pas y avoir eu davantage de considération des caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains au cours du développement des projets d'aménagement de NM que ceux s'érigeant au sein de MGN et MAMP. Ainsi, les sensibilités ponctuelles des politiques à l'échelle de l'aire urbaine ne se traduisent pas systématiquement dans la réalité de l'aménagement de projets urbains.

[31]**MOA – NM** : ils voient surtout le côté pratique, alors le marqueur de la nature en ville chez Johanna Rolland, c'est ancré dans son discours et sa pensée.

[32]**MOA – NM** : c'est vrai qu'ils ont plein d'autres sujets, et on n'évoque pas forcément ces sujets-là, mais ils parlent de ces sujets au niveau de l'agglomération. Donc nous, on met en œuvre indirectement sa vision à l'échelle [du projet]… Et puis aujourd'hui toute l'agriculture urbaine à Nantes est extrêmement mise en avant, donc je dirai que ça va de soi et que ça se décline dans les services ensuite.

[32]**MOA – NM** : non, ça commence vraiment à devenir nécessaire, car il y a beaucoup plus de jardins familiaux dans la programmation qui est demandée. Bon ça encore les jardins familiaux c'est une partie publique, donc je dirai qu'on en a totalement la maîtrise. Mais même au sein des projets immobiliers, on demande de plus en plus à ce qu'ils nous proposent des aménagements extérieurs, co-construis avec les habitants, des composteurs, etc.

Conclusion

L'état des lieux de la considération des sols dans la fabrique urbaine souligne le fait que celle-ci dépasse la considération surfacique du sol. A ce titre, les travaux effectués au cours de ce doctorat indiquent que cette considération du sol comme volume se fait en considérant les sols jusqu'alors faiblement anthropisés. Les évolutions réglementaires de la planification territoriale et les stratégies de développement des projets urbains vont dans le sens d'une protection de la ressource en sols naturels, perçus par les acteurs de la planification territoriale et de l'urbanisme opérationnel comme des systèmes fonctionnels et qualitatifs, permettant par exemple le stockage de carbone, le développement végétal ou encore la production d'aliments. Ce rôle fonctionnel des sols naturels s'illustre d'ailleurs parfaitement avec l'utilisation de la terre végétale issue des milieux naturels pour permettre le développement de la nature en milieux urbains. Cette utilisation de la terre végétale tend à démontrer que les sols des milieux urbains sont perçus par les acteurs de l'urbanisme opérationnel comme des systèmes complexes, souvent sources d'imprévus (*e.g.* pollution, mauvaise infiltration de l'eau). Les évolutions réglementaires et la nécessité d'anticiper et de gérer les risques pour la sécurité des populations entrainent néanmoins une considération systémique et fonctionnelle des sols urbains. Cependant, la dimension verticale des sols urbains dans l'urbanisme opérationnel est fortement corrélée avec l'idée de contraintes, et ne semble pas pouvoir permettre d'apporter, pour l'ensemble des professionnels de l'urbanisme opérationnel, des réponses aux enjeux environnementaux intrinsèques aux milieux urbains. A ce titre, seuls certains acteurs de l'urbanisme opérationnel développent une vision des sols urbains comme ressource. Cette vision, qui induit la réalisation d'analyses bio-physico-chimiques des sols des sites de projets urbains, est pour l'instant ponctuelle et fortement liée aux sensibilités propres des acteurs. De plus, il apparait que l'approche des sols urbains comme matériaux ressource et système fonctionnel n'est pas traduit dans les documents de l'aménagement du territoire. Ce décalage entre la vision systémique des sols urbains et l'approche comme matériaux ressource peut s'expliquer par un manque de connaissance de ce système complexe de la part de la plupart des acteurs de la fabrique urbaine.

Ces résultats conduisent alors à se poser deux questions relatives à ce travail de doctorat :

1) les sols urbains sont-ils tous fortement marqués par une anthropisation intensive qui modifierait alors considérablement leurs caractéristiques bio-physico-chimiques et altèrerait leur qualité ? ;
2) les sols urbains peuvent-ils traduire des potentialités en termes de services écosystémiques qui permettraient de répondre aux objectifs des projets urbains développés aujourd'hui en France ?

Chapitre IV – Propriétés physiques et chimiques des sols urbains

Pour enrichir les connaissances du système « sol urbain » en pédologie urbaine, ce chapitre vise à **caractériser les propriétés biologiques, physiques et chimiques de sols d'aires urbaines** (Figure 19). Pour ce faire, il a comme objectifs de répondre à ces différents questionnements scientifiques :

(1) la composition et les caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains sont-elles exclusivement dominées par des processus anthropiques ? ;

(2) ces processus anthropiques homogénéisent-ils les caractéristiques bio-physico-chimiques des sols urbains, de sorte qu'un sol urbain d'une aire urbaine soit plus proche d'un sol urbain d'une autre aire urbaine que d'un sol naturel présent dans les espaces agricoles de la même aire urbaine ? ;

(3) est-il possible de mettre en exergue un nombre restreint de paramètres biologiques, physiques et/ou chimiques qui constituent des indicateurs d'état des sols urbains ? ;

(4) existe-t-il une typologie des sols au sein d'une aire urbaine ?

Les résultats présentés dans cette section sont issus des méthodes présentées dans la section II.2.3.

IV.1. Résultats

IV.1.1. La description des caractéristiques physiques et chimiques des sols urbains

Les propriétés physiques et chimiques des sols urbains étudiés

La profondeur des profils de sol étudiés varie entre 65 cm et 185 cm, avec une valeur moyenne proche de 100 cm (Tableau 16). Les profils de sol de La Jaguère (NM), du Champ de Manœuvre (NM) et de La MJC (MGN) sont ceux présentant la plus faible profondeur, variant de 65 à 80 cm. A l'inverse, les profils de sol d'Euromed (MAMP) sont les plus profonds, atteignant 135 à 185 cm. Si les profils présentent, pour la plupart, entre quatre et cinq horizons distincts, il est à noter que certains d'entre eux (La Jaguère (NM), La MJC (MGN), quelques profils du Plateau de Haye (MGN), de Biancamaria (MGN) et de La Haie Cerlin (MGN)) présentent un nombre d'horizons plus faible, variant entre 2 et 3. A l'inverse, les profils de sol de La Boissière (NM) et un profil d'Euromed (MAMP) sont constitués du plus important nombre d'horizons, variant entre six et sept. Enfin, ces profils de sol présentent une densité racinaire variant de l'absence de racines (*e.g.* Euromed (MAMP) et Plan d'Aou (MAMP)) à un taux atteignant les 44,4%. De manière générale, ce sont les profils de sol de La MJC (MGN), de Sainte-Marthe (MAMP) et des sites de NM qui présentent les densités racinaires les plus élevées.

Tableau 16 : Profondeur, nombre d'horizons et densité racinaire de l'ensemble des profils des sols urbains étudiés (n=37)

Sol	Profondeur profil (cm)	Nombre horizons	Densité racinaire (%)
MGN-B-A	127	5	8,2
MGN-B-B	110	5	15,3
MGN-B-C	120	5	3,0
MGN-B-D	135	4	1,1
MGN-B-E	100	2	1,1
MGN-PH-A	85	5	17,9
MGN-PH -B	120	5	4,5
MGN-PH -C	85	2	15,0
MGN-PH -D	100	2	14,9
MGN-HC-A	120	5	3,5
MGN-HC-B	140	3	2,7
MGN-HC-C	130	5	14,9
MGN-HC-D	120	2	2,3
MGN-HC-E	120	3	16,4
MGN-MJC-A	80	3	31,7
MGN-MJC-B	80	2	20,5
MGN-MJC-C	80	3	22,9
MGN-MJC-D	80	2	14,2
MAMP-E-A	175	4	12,5
MAMP-E-B	185	7	0,0
MAMP-E-C	135	4	1,9
MAMP-PA-A	100	5	0,0
MAMP-PA-B	125	4	14,1
MAMP-PA-C	110	4	17,1
MAMP-SM-A	100	4	39,3
MAMP-SM-B	120	4	33,3
MAMP-SM-C	100	4	42,2
NM-LJ-A	75	4	44,4
NM-LJ-B	83	3	32,1
NM-LJ-C	65	4	39,8
NM-LJ-D	80	3	26,9
NM-LB-A	100	5	13,8
NM-LB-B	115	6	18,7
NM-LB-C	120	6	16,4
NM-CM-A	70	4	24,9
NM-CM-B	70	5	29,1
NM-CM-C	70	5	32,9

Les horizons de sol présentent une gamme de couleurs allant du brun foncé jusqu'au blanc, en passant par du brun clair, du beige, du gris et parfois même une couleur aux aspects « rouille ». A ce sujet, si de nombreux profils de sol se caractérisent par des horizons de couleurs brun et beige, les profils des sites de La Haie Cerlin (MGN) et de La Boissière (NM) présentent des gammes de couleur allant du gris à l'ocre en passant, pour certains horizons, par le rouge. De plus, la majorité des profils de sol présentent une nette différenciation entre la couleur du premier horizon, d'aspect brun foncé voire noir, et celles des autres horizons plus profonds, dont les couleurs varient dans la gamme de couleurs décrite précédemment. Cette différenciation n'est cependant pas observable pour les profils de sol de La Haie Cerlin (MGN), d'Euromed (MAMP) et du Plan d'Aou (MAMP).

Les profils de sol couvrent l'intégralité des gammes de structures (*e.g.* grumeleuse, polyédrique, prismatique, particulaire, compacte) et textures de sol (*e.g.* argileuse, limoneuse, sableuse, équilibrée). Concernant les structures, de nombreux horizons décrits présentent une structure de type grumeleuse ou polyédrique. Les horizons de sol de La Haie Cerlin (MGN), de La MJC (MGN), de Sainte-Marthe (MAMP) et des trois sites de NM ont une structure à dominante polyédrique, fine à grossière. De manière sensiblement différente, le site de Biancamaria (MGN) est constitué de sols dont la structure est compacte. De plus, les sols du Plateau de Haye (MGN) présentent une variation de structures dans leurs horizons de type grumeleuse à particulaire. La structure des sols des horizons du Plan d'Aou (MAMP) alterne entre grumeleuse et compacte. Enfin, les horizons inférieurs des sols du Champ de Manœuvre (NM) sont les seuls à présenter une structure prismatique. Concernant la texture, les horizons des profils de sol de NM présentent une dominance de texture limoneuse. C'est également le cas pour les sites de Biancamaria (MGN) et de Sainte-Marthe (MAMP). Les sols de La Haie Cerlin (MGN) et du Plan d'Aou (MAMP) présentent quant à eux une dominance de texture dite argileuse. Enfin, les sites de La Haie Cerlin (MGN), d'Euromed (MAMP) et de La MJC (MGN) présentent des horizons de sol dont la texture alterne entre limoneuse, argileuse et équilibrée.

Concernant l'activité biologique des sols, certains horizons décrits présentent une forte activité biologique, d'autres une activité caractérisée de moyenne ou faible. En général, la description des horizons indique que l'activité biologique est forte pour les premiers horizons, puis décroit en fonction de la profondeur du profil. Il est à noter cependant que les horizons des sols de La MJC (MGN) et de Sainte-Marthe (MAMP) sont caractérisés par une activité biologique forte dans toute la profondeur du profil. A l'inverse, l'ensemble des profils de sol d'Euromed (MAMP), du Plan d'Aou (MAMP) et trois profils de sol de Biancamaria (MGN) se caractérisent par une faible activité biologique.

Concernant la compacité des sols, les horizons de sol étudiés présentent une compacité caractérisée de faible, moyenne ou forte ; certains horizons étant parfois même totalement imperméables. En général, la compacité des horizons est décrite comme relativement moyenne. Cependant, les profils de sol des sites d'Euromed (MAMP), du Plateau de Haye (MGN) et de La Jaguère (NM) se caractérisent par une compacité des sols relativement plus élevée. De plus, la description des profils tend à indiquer que la compacité des horizons croît en fonction de la profondeur, à partir d'un horizon de surface peu compact. Ce n'est cependant pas le cas pour les horizons des profils d'Euromed (MAMP), qui présentent une forte compacité dès les horizons de surface.

Les horizons de sol présentent des taux d'éléments grossiers (constituants minéraux du sol de diamètre supérieur à 2 mm) et d'artéfacts (éléments grossiers d'origine anthropique)

compris respectivement entre 1,7% et 90,1% et 0,0% et 25,4%. De manière générale, les profils de sol présentent des horizons supérieurs dont les teneurs en éléments grossiers sont sensiblement plus élevées (30,0 à 40,0%) que celles des horizons inférieurs (10,0 à 20,0%). Ce n'est cependant pas le cas pour certains profils de sol de Biancamaria (MGN) et du Plateau de Haye (MGN), ainsi que pour les trois profils de sol de La Boissière (NM), pour lesquels un ou plusieurs horizons inférieurs présentent un taux en éléments grossiers plus élevé que celui des horizons supérieurs. De plus, si les horizons des profils de sol d'Euromed (MAMP) et du Plan d'Aou (MAMP) présentent des teneurs en éléments grossiers élevées (proches de 50,0 à 70,0%) sur toute la profondeur du profil, les profils de sol de La Haie Cerlin (MGN), de La MJC (MGN), de Sainte-Marthe (MAMP), de La Jaguère (NM) et du Champ de Manœuvre (NM) sont ceux dont les teneurs en éléments grossiers sont les plus faibles (environ 5,0 à 15,0%). Pour ce qui est des artéfacts, de nombreux horizons échantillonnés ne contiennent quasiment pas d'éléments anthropiques. C'est le cas notamment des horizons des sols de La Boissière (NM), du Champ de Manœuvre (NM), de Sainte-Marthe (MAMP) et de La Haie Cerlin (MGN), qui ont une teneur en artéfacts nulle. A l'inverse, les sols de Biancamaria (MGN), du Plateau de Haye (MGN), d'Euromed (MAMP) et du Plan d'Aou (MAMP) sont ceux dont les horizons présentent les teneurs les plus élevées en éléments anthropiques.

Les sols des sites de La Haie Cerlin (MGN), de La MJC (MGN), d'Euromed (MAMP), du Plan d'Aou (MAMP) et de Sainte-Marthe (MAMP) se caractérisent par une absence de traces d'hydromorphie. A l'inverse, les profils de sol de Biancamaria (MGN), du Plateau de Haye (MGN) et des sites de NM présentent des traces d'hydromorphie plus ou moins intense. Parmi celles-ci, certaines sont encore actives, puisque la présence d'eau a pu être détectée lors de l'ouverture du profil. C'est le cas notamment des sols du Plateau de Haye (MGN) et de La Boissière (NM). D'autres traces d'hydromorphie sont des traces dites héritées, puisque la description de l'horizon de sol ne permet pas de révéler la présence d'eau. C'est le cas par exemple des profils de sol de Biancamaria (MGN) ou encore de La Haie Cerlin (MGN).

Enfin, la valeur moyenne de la masse volumique apparente de l'ensemble des profils de sol étudiés est de 1,2 $t.m^{-3}$. L'écart-type est égal à 0,3 $t.m^{-3}$, la valeur maximale mesurée étant de 1,8 $t.m^{-3}$, et celle minimale de 0,5 $t.m^{-3}$. Les résultats soulignent également que les horizons de surface se caractérisent, en moyenne, par des valeurs de masse volumique apparente plus faibles (1,1 $t.m^{-3}$) que celles des horizons inférieurs (1,3 $t.m^{-3}$). De plus, les Technosols et Anthrosols présentent (tous horizons confondus) des masses volumiques apparentes plus faibles (moyenne = 1,1 $t.m^{-3}$) que celles des autres classes de sols. Par comparaison, les sols

naturels ont des valeurs similaires aux références nationales évoquées plus haut (moyenne = 1,3 $t.m^{-3}$).

La comparaison des propriétés physiques et chimiques des sols urbains avec celles de sols agricoles, forestiers et industriels

Les résultats des analyses physico-chimiques indiquent que les terres de surface des aires urbaines étudiées présentent une valeur médiane de pH de 8,2 (écart-type de 1,1) (Figure 70). Cette valeur est du même ordre de grandeur que la valeur médiane des terres de surface des vignes et vergers, et relativement plus élevée que celle des sols de jardins urbains, agricoles, de prairies et de forêts. Enfin, cette valeur est sensiblement plus élevée que celle des SUITMA (soils of urban, industrial, traffic, mining and military areas). Il est à noter cependant que les terres de surface des SUITMA présentent une plus grande diversité de valeurs de pH que les terres de surface des aires urbaines échantillonnées dans le cadre du doctorat.

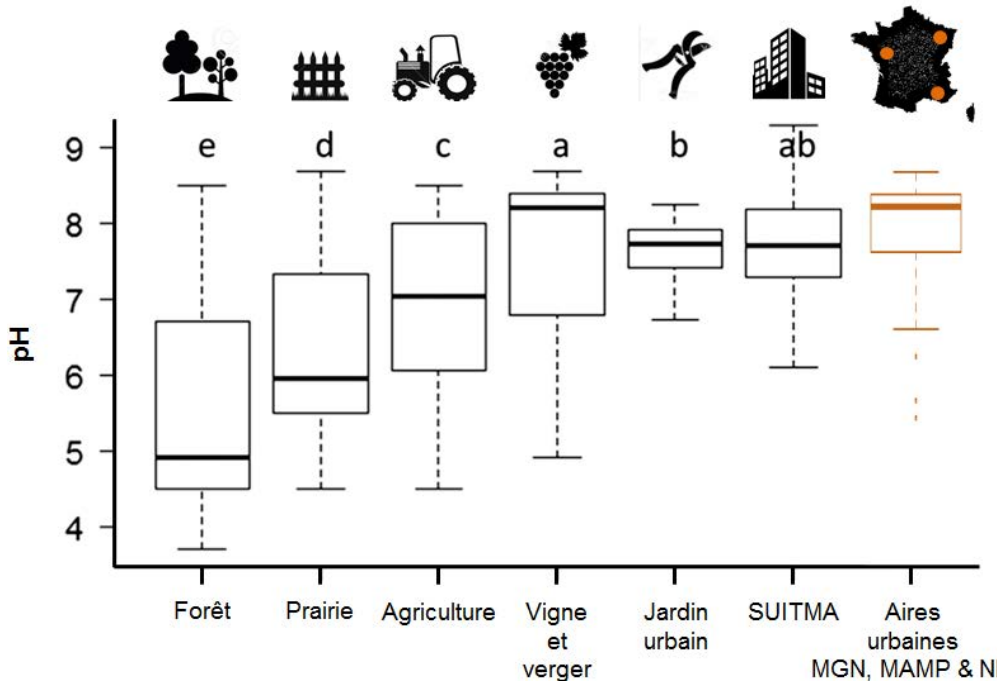


Figure 70 : Comparaison du pH moyen de terres de surface de sols d'aires urbaines (n=35) avec celui de terres de surface de sols forestiers (n=582), prairiaux (n=623), agricoles (n=820), de vignobles et vergers (n=48), de jardins urbains (n=104) et de SUITMA (n=229) *d'après Joimel* et al.*, 2016*

Les terres de surface des aires urbaines présentent une teneur médiane en carbone organique (C_{org}) de 10,7 $g.kg^{-1}$ (écart-type de 19,9) (Figure 71). Il apparait que cette valeur est du même ordre de grandeur que celle des terres de surface des sols de vignes et de vergers, mais relativement plus faible que celle des terres de surface de sols forestiers, prairiaux, agricoles, ainsi que de jardins urbains. Là encore, les terres de surface des SUITMA présentent une teneur en C_{org} plus élevée que celle des terres échantillonnées dans le cadre du doctorat,

ainsi qu'une plus grande hétérogénéité de valeurs. Ces résultats sont sensiblement identiques pour la teneur médiane en phosphore (P_{Olsen}), qui s'élève à 0,05 $g.kg^{-1}$(écart-type de 0,1).

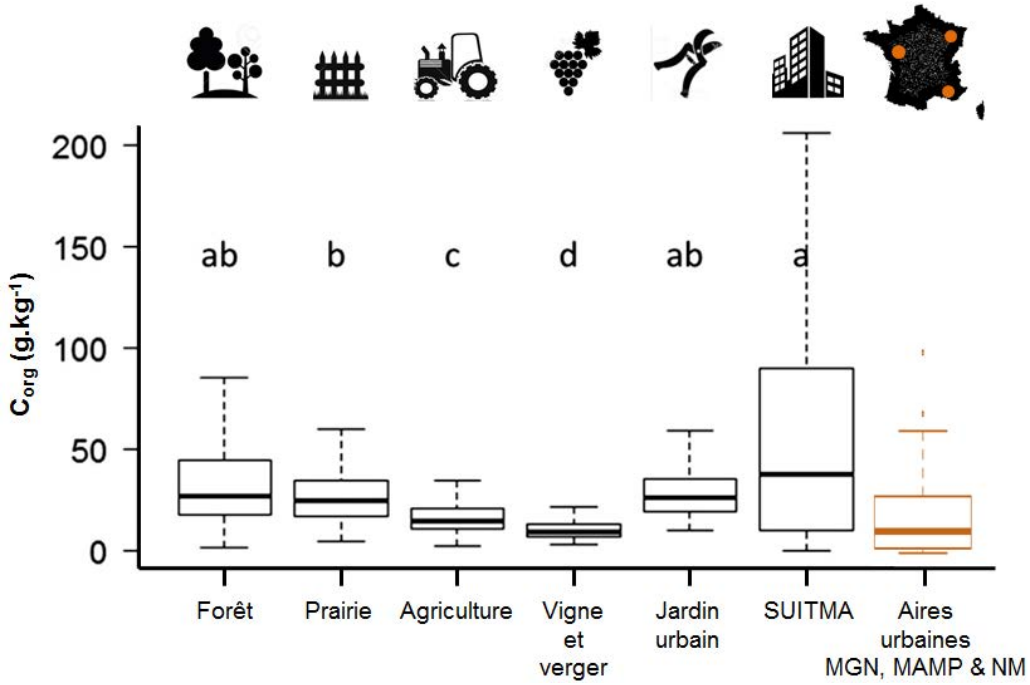


Figure 71 : Comparaison de la teneur en carbone organique de terres de surface de sols d'aires urbaines (n=35) avec celle de terres de surface de sols forestiers (n=582), prairiaux (n=623), agricoles (n=820), de vignobles et vergers (n=48), de jardins urbains (n=104) et de SUITMA (n=229) *d'après Joimel* et al.*, 2016*

Concernant la teneur médiane en azote total (N_{tot}), les résultats des terres de surface des aires urbaines indiquent que cette valeur est de 2,9 $g.kg^{-1}$ (écart-type de 8,6) (Figure 72). Cette valeur est relativement plus élevée que celle des terres de surface des SUITMA, des sols de jardins, forestiers, prairiaux, agricoles et de vignes et vergers. De plus, les résultats des analyses physico-chimiques tendent à montrer une plus grande hétérogénéité dans les valeurs d'N_{tot} pour les terres de surface échantillonnées dans les trois aires urbaines françaises, certaines terres présentant une teneur en azote pouvant atteindre 34,1 $g.kg^{-1}$.

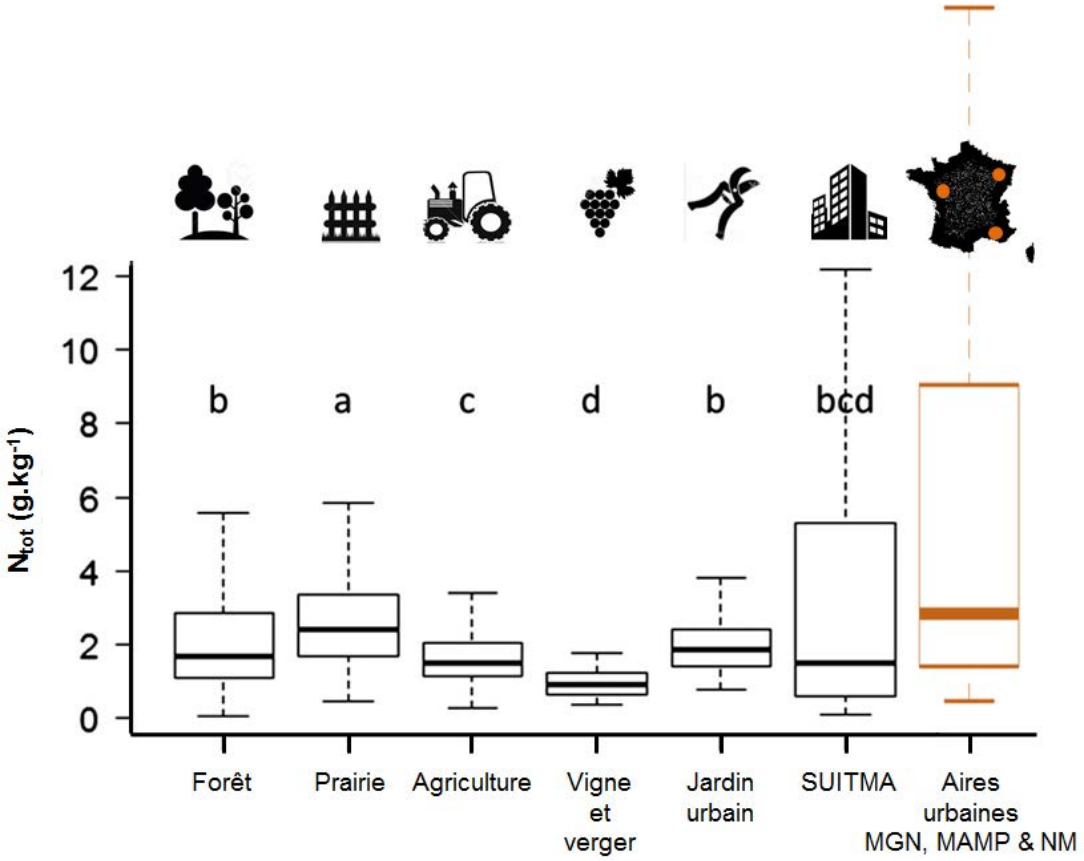


Figure 72 : Comparaison de la teneur moyenne en azote total de terres de surface de sols d'aires urbaines (n=35) avec celle de terres de surface de sols forestiers (n=582), prairiaux (n=623), agricoles (n=820), de vignobles et vergers (n=48), de jardins urbains (n=104) et de SUITMA (n=229) *d'après Joimel* et al.*, 2016*

Pour le nickel total (Ni), la teneur médiane s'élève à 22,7 mg.kg^{-1} pour les échantillons de terres prélevés au sein des trois aires urbaines (écart-type de 41,6) (Figure 73). Il est à noter que cette valeur est du même ordre de grandeur que celle trouvée pour les terres de surface des autres typologies de sol. Cependant, là encore, les concentrations en Ni sont plus hétérogènes pour les terres de surface échantillonnées au sein des SUITMA. Ces résultats sont sensiblement identiques pour la teneur médiane en cuivre (Cu), qui s'élève à 20,8 mg.kg^{-1} pour les terres de surface des aires métropolitaines (écart-type de 57,5).

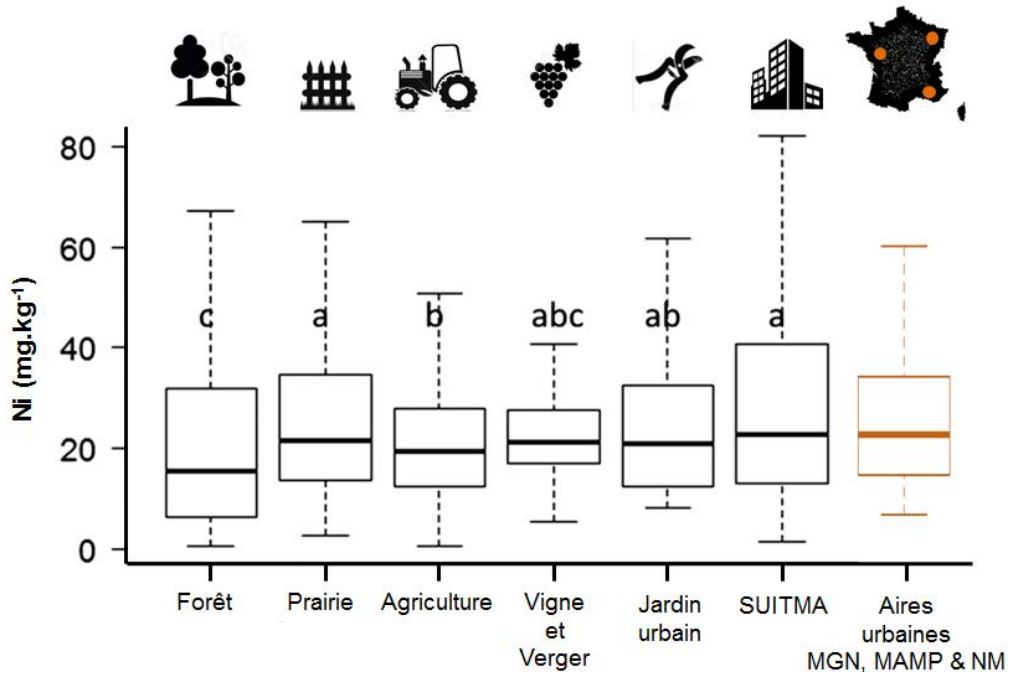


Figure 73 : Comparaison de la teneur moyenne en nickel de terres de surface de sols d'aires urbaines (n=35) avec celle de terres de surface de sols forestiers (n=582), prairiaux (n=623), agricoles (n=820), de vignobles et vergers (n=48), de jardins urbains (n=104) et de SUITMA (n=229) *d'après Joimel* et al.*, 2016*

Enfin, les terres de surface échantillonnées au cours du doctorat présentent une teneur médiane en plomb (Pb) de 54,8 $mg.kg^{-1}$ (écart-type de 195,2) (Figure 74). Il est à noter que cette valeur est plus élevée que celle des terres de surface des sols forestiers, agricoles, prairiaux et de vignobles et est du même ordre de grandeur que celle rencontrée pour les jardins urbains. Une différence notable à relever est que cette valeur médiane est fortement inférieure à celle rencontrée généralement dans les SUITMA, qui s'élève à plus de 400,0 $mg.kg^{-1}$. Ces résultats sont similaires à ceux rencontrés pour la teneur en zinc (Zn), donc la valeur médiane pour les terres de surface échantillonnées ici atteint 112,0 $mg.kg^{-1}$ (écart-type de 211,9). C'est également le cas pour la teneur en cadmium (Cd), dont la valeur médiane est de 0,2 $mg.kg^{-1}$ (écart-type de 0,3).

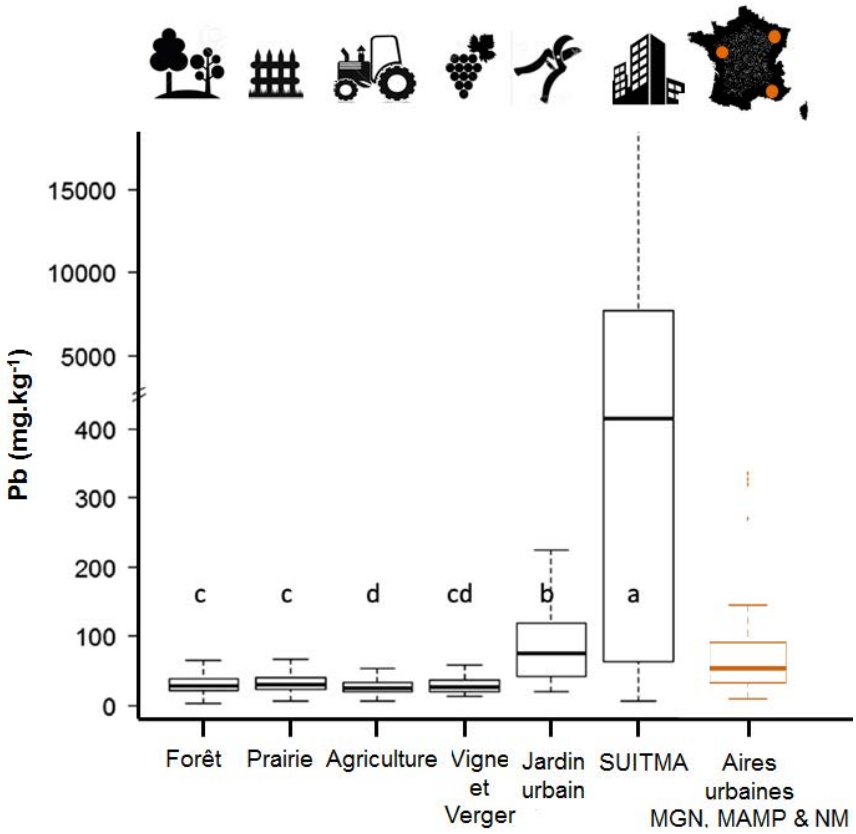


Figure 74 : Comparaison de la teneur moyenne en plomb des terres de surface de sols d'aires urbaines (n=35) avec celle de terres de surface de sols forestiers (n=582), prairiaux (n=623), agricoles (n=820), de vignobles et vergers (n=48), de jardins urbains (n=104) et de SUITMA (n=229)
d'après Joimel et al.*, 2016*

L'analyse des corrélations des caractéristiques physiques et chimiques des sols urbains

L'analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur les paramètres physiques et chimiques de l'ensemble des horizons des sols urbains des trois aires urbaines permet d'expliquer 37,9% de l'inertie du nuage de points représentés. La représentation du cercle de corrélation indique que de nombreuses variables sont expliquées par les deux axes représentés, car éloignées du centre du cercle (Figure 75). Seules les variables « apport de terre végétale » (tn), « fer » (Fe), « molybdène » (Mo), « sables » (Sables) et « magnésium échangeable » (Mg_{ech}), sont proches du centre du cercle, ne participant ainsi pas, dans la représentation de ces dimensions, à expliquer les caractéristiques intrinsèques aux sols urbains. Les variables « capacité d'échange cationique » (CEC), « carbone organique » (C_{org}), « phosphore » (P_{Olsen}), « chrome » (Cr), « Nickel » (Ni), « cobalt » (Co), « plomb » (Pb), « zinc » (Zn), « cadmium » (Cd) et « masse volumique apparente (MV_{app}) sont principalement expliquées par l'axe vertical. A l'inverse, les variables telles que « artéfacts naturels » (An), « éléments grossiers » (Elements.grossiers), « calcaire » ($CaCO_3$), « densité racinaire » (Densite.racinaire) ou encore « limons » (Limons) semblent davantage expliquées par l'axe

horizontal. Enfin, l'inertie des variables comme « éloignement au centre-ville » (Distance.CV), « azote » (N_{tot}), « sodium échangeable » (Na_{ech}), « magnésium échangeable » (Mg_{ech}), « argiles » (Argiles), « sables », « calcium échangeable » (Ca_{ech}) ou encore « fraction anthropique » (Fraction.anthropique) semble absorbée par les deux premières composantes représentées sur ce cercle de corrélation.

Ce cercle de corrélation ainsi que le corrélograme des paramètres physiques et chimiques des sols des aires urbaines (Figure 76) renseignent également sur certaines corrélations entre variables. Tout d'abord, sur le cercle de corrélation, les variables limons et densité racinaire apparaissent positivement corrélées. A ce titre, le corrélograme indique une corrélation positive entre le pourcentage de densité racinaire et la teneur en N_{tot}. Il semble également y avoir un pool de corrélations positives entre les variables Cr, Ni et Co, confirmé par le corrélograme. Les variables CEC, P_{Olsen} et C_{org} d'une part et Pb, Zn, Cd et Cu d'autre part, apparaissent également corrélées de façon positive. De plus, le cercle de corrélations indique une corrélation positive entre la teneur en éléments grossiers et les teneurs en artéfacts technogéniques (At) et en calcaire. Le corrélograme renseigne sur une corrélation supplémentaire entre le pourcentage d'artéfacts technogéniques et la conductivité et les teneurs en Zn et Cd. Le corrélograme permet également de mettre en exergue une corrélation positive entre la teneur en calcium échangeable et le taux de saturation des sols urbains (S/T). Enfin, il y a une corrélation négative entre les variables MV_{app}, P_{Olsen}, CEC et C_{org}.

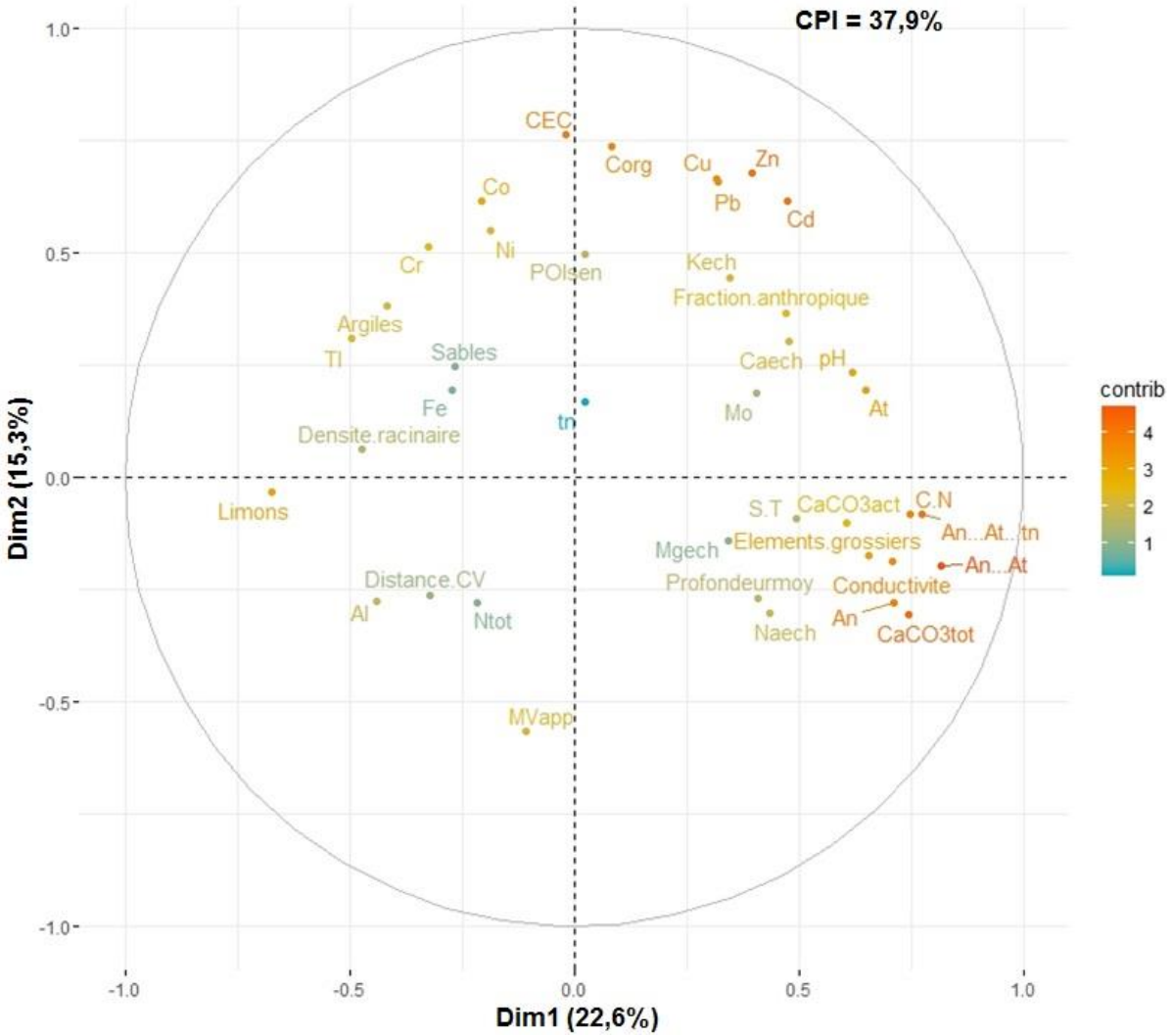


Figure 75 : Cercle de corrélation des variables physiques et chimiques analysées pour l'ensemble des profils (n=37) et horizons (n=96) des sols urbains étudiés
ACP réalisée avec RStudio grâce aux packages FactoMineR et factoextra et à la fonction dudi.pca
Les variables les plus contributives sont proches de la couleur orange et éloignées du centre du cercle, tandis que celles les moins contributives sont proches de la couleur bleue et proches du centre du cercle

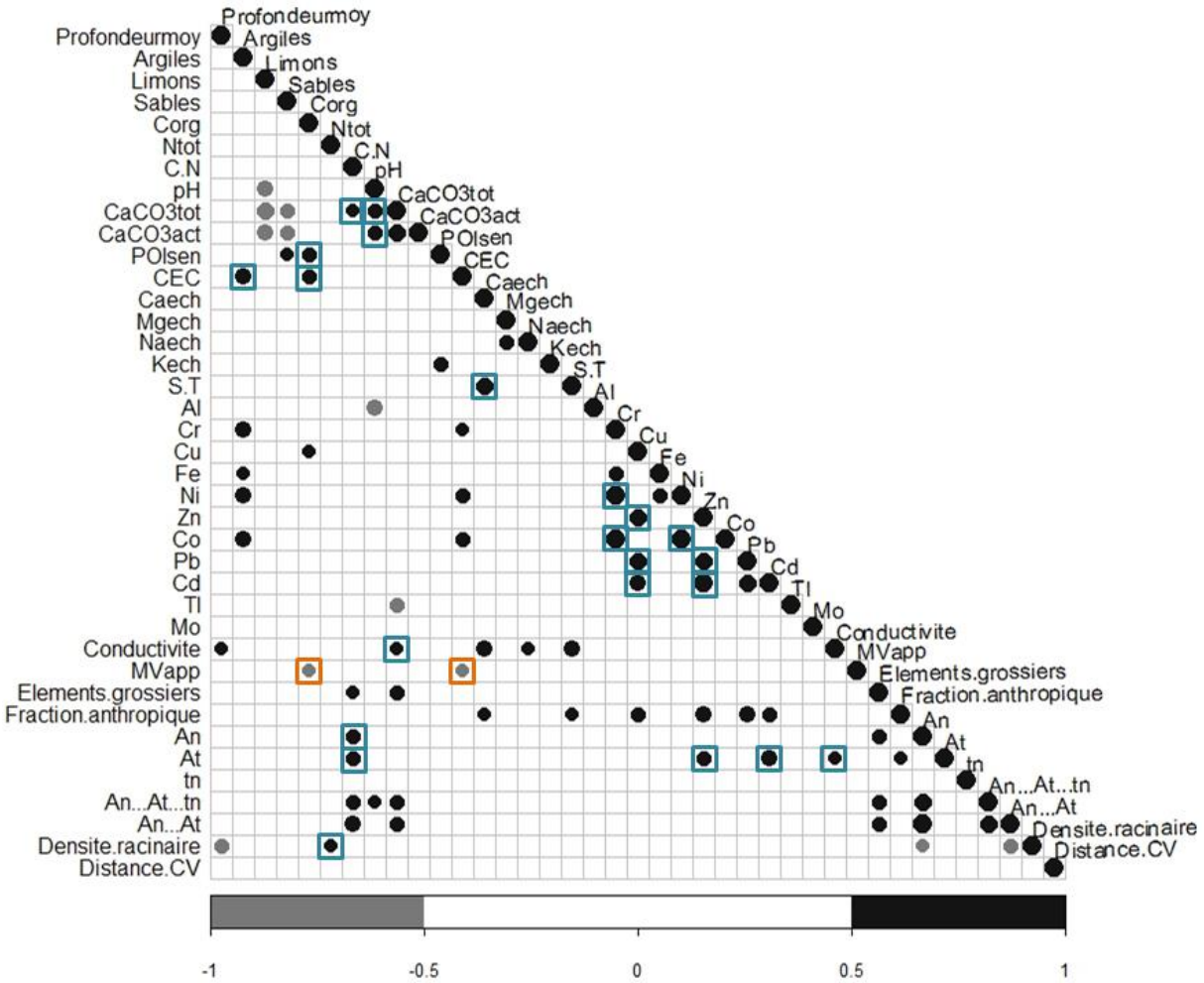


Figure 76 : Corrélograme des paramètres physico-chimiques de l'ensemble des profils (n=37) et horizons (n=96) des sols urbains étudiés - La couleur et la taille des cercles sont proportionnelles à la valeur du coefficient de corrélation entre deux variables. Les cercles noirs indiquent une corrélation positive entre deux variables, les cercles gris une corrélation négative. Les encadrés renvoient aux variables qui sont discutées dans le texte (bleu pour les corrélations positives, orange pour celles négatives)

L'influence des aires urbaines, des typologies de projets urbains et des sites d'étude sur les propriétés physiques et chimiques des sols urbains

Le graphique des aires urbaines (Figure 77a) permet de mettre en évidence que les horizons de sol présentent une plus ou moins grande variabilité de leurs paramètres physiques et chimiques. En effet, les horizons des sols de MAMP et de MGN occupent une surface importante sur le graphique, témoignant de la grande variabilité qui existe entre les caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés au sein de ces 2 aires urbaines (les points représentant chaque horizon de sol sont fortement dispersés). A l'inverse, les horizons des sols de NM apparaissent confinés sur une surface moins importante, étant donc relativement similaires d'un point de vue de leurs caractéristiques physico-chimiques (les points représentant chaque horizon sont proches les uns des autres). L'aire urbaine semble ainsi être un facteur discriminant pour les paramètres physico-chimiques des sols urbains.

Le graphique descriptif des types de projets urbains (Figure 77b) éclaire sur le fait que ce facteur ne semble pas avoir une influence sur la variabilité des paramètres physico-chimiques des sols urbains. En effet, les ellipses représentant les horizons de sol échantillonnés au sein d'écoquartiers, de projets en extension urbaine ou en renouvellement urbain se superposent presque. Cependant, la dispersion des échantillons pour les projets d'écoquartier, et de manière plus faible, pour les projets en renouvellement urbain, semble indiquer que les sols de ces projets présentent davantage d'hétérogénéité dans leurs paramètres physico-chimiques que ceux des projets en extension urbaine.

Le dernier graphique permet de renseigner sur le fait que certains profils de sol sont relativement homogènes dans leurs caractéristiques physiques et chimiques (Figure 77c). C'est le cas notamment des sites de NM (Champ de Manœuvre, La Boissière, La Jaguère) et des sites en extension urbaine (La Haie Cerlin (MGN) et Sainte Marthe (MAMP)). A l'inverse, les sols des sites de Biancamaria (MGN), du Plateau de Haye (MGN), de La MJC (MGN), d'Euromed (MAMP) ou encore du Plan d'Aou (MAMP) présentent une plus grande hétérogénéité dans leurs caractéristiques physico-chimiques.

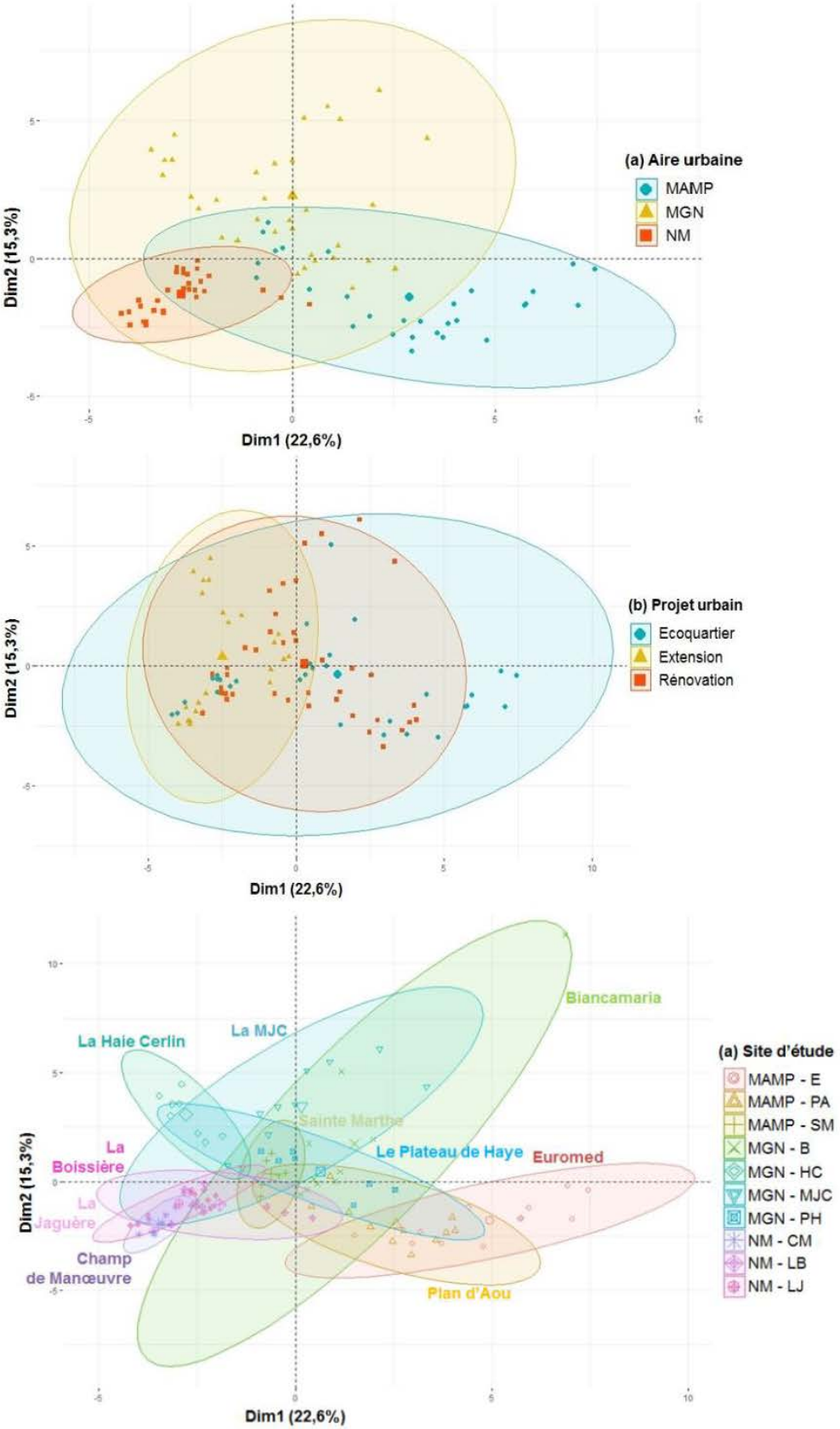


Figure 77 : Graphique de l'ensemble des profils (n=37) et horizons (n=96) des sols urbains étudiés, regroupés selon les aires urbaines (a), les projets urbains (b) et les sites d'étude (c) (n=96)
ACP réalisée avec RStudio grâce aux packages FactoMineR et factoextra et à la fonction dudi.pca
Plus les individus sont similaires, plus ils apparaissent proches sur le graphique

IV.1.2. L'analyse des facteurs influençant les propriétés physiques et chimiques des sols urbains

La classification des sols urbains

Les informations présentées précédemment ont été croisées avec les critères de classification de la WRB, permettant ainsi de nommer chaque profil de sol étudié (Tableau 17). Ces noms de sols sont déterminés par le groupe auquel appartient le sol, ainsi que par des qualificatifs principaux et supplémentaires. Le groupe de sol est déterminé en fonction de la présence dans les horizons du profil, de facteurs pédogénétiques ou de processus propres au sol. Par exemple, sont distingués les sols avec une forte influence humaine, les sols présentant une limitation au développement racinaire, ceux présentant une accumulation prononcée de matière organique dans la couche superficielle minérale, les sols avec une différenciation de profil faible à nulle, ou encore les sols qui présentent une dominante de processus expliqués par les propriétés chimiques des éléments Fe et Al. Ensuite, chacun des noms de sols est complété par des qualificatifs principaux et secondaires. Les qualificatifs principaux sont considérés comme majeurs pour la caractérisation des sols et font référence, chacun, à des propriétés physiques, chimiques ou biologiques différentes. Le nombre croissant de qualificatifs renseigne alors sur la complexité croissante du profil de sol.

Les profils de sol de Biancamaria (MGN), du Plateau de Haye (MGN), de La MJC (MGN), d'Euromed (MAMP) et du Plan d'Aou (MAMP) sont tous des sols présentant une forte influence anthropique. Les sols des profils A, B et C de La MJC (MGN) présentent de manière spécifique, à la différence des autres profils de sol, un apport élevé en matière organique dans le premier horizon en lien avec des pratiques agricoles. Ces trois profils de sol appartiennent alors au groupe des Anthrosols. Les autres profils évoqués ci-dessus présentent de nombreux artéfacts et sont donc regroupés sous le nom de Technosols. De plus, les profils de sol de La MJC (MGN) présentent une couleur foncée, une teneur élevée en matière organique et en P, des teneurs élevées en Ca_{ech} et Mg_{ech} ainsi qu'un taux de saturation en bases élevé. Ces profils de sol obtiennent donc les qualificatifs Pretic et Hortic. De la même manière, les profils de sol des 4 autres sites présentent, à une profondeur inférieure à 100 cm de la surface, un horizon avec au moins 20% d'artéfacts. Ces artéfacts sont issus de déchets d'activités humaines pour certains profils, dont le qualificatif est Urbic, d'autres sont issus de résidus industriels et sont qualifiés de Spolic. De la même manière, les sols de La Haie Cerlin (MGN), sont caractérisés par la présence d'une nappe perchée et présentent dans leurs horizons des conditions réductrices donnant des propriétés stagniques. Ils appartiennent aux Stagnosols. De plus, leurs horizons présentent du carbonate de calcium secondaire accumulé sous forme diffuse et un taux de saturation supérieur à 50%. Ces profils de sol portent donc le qualificatif

de Calcic et Hypereutric. Enfin, certains sols de NM présentent des évidences de processus de brunification qui les rattachent aux Cambisols. D'autres présentent des couleurs essentiellement pâles et des signes de stagnation d'eau, avec des horizons profonds très argileux et ont été classés au sein des Planosols.

Tableau 17 : Groupe et qualificatifs principaux de l'ensemble des profils des sols urbains étudiés (n=37)

Profil de sol	Groupe	Qualificatifs principaux
MGN-B-A	Technosol	Urbic
MGN-B-B	Technosol	Urbic
MGN-B-C	Technosol	Urbic
MGN-B-D	Technosol	Urbic
MGN-B-E	Technosol	Urbic
MGN-PH-A	Technosol	Spolic
MGN-PH -B	Technosol	Spolic
MGN-PH -C	Technosol	Spolic
MGN-PH -D	Technosol	Spolic
MGN-HC-A	Stagnosol	Gleyic, Calcic, Hypereutric
MGN-HC-B	Stagnosol	Gleyic, Calcic, Hypereutric
MGN-HC-C	Stagnosol	Gleyic, Calcic, Hypereutric
MGN-HC-D	Stagnosol	Gleyic, Calcic, Hypereutric
MGN-HC-E	Stagnosol	Gleyic, Calcic, Hypereutric
MGN-MJC-A	Anthrosol	Hortic, Pretic
MGN-MJC-B	Anthrosol	Hortic, Pretic
MGN-MJC-C	Anthrosol	Hortic, Pretic
MGN-MJC-D	Technosol	-
MAMP-SM-A	Cambisol	Calcaric, Hypereutric
MAMP-SM-B	Cambisol	Calcaric, Hypereutric
MAMP-SM-C	Cambisol	Calcaric, Hypereutric
MAMP-E-A	Technosol	Urbic
MAMP-E-B	Technosol	Technoleptic, Urbic
MAMP-E-C	Technosol	Technoleptic, Urbic
MAMP-PA-A	Technosol	-
MAMP-PA-B	Technosol	-
MAMP-PA-C	Technosol	-
NM-LJ-A	Cambisol	Stagnic, Eutric
NM-LJ-B	Cambisol	Stagnic, Eutric
NM-LJ-C	Cambisol	Stagnic, Eutric
NM-LJ-D	Planosol	Glossic, Eutric
NM-LB-A	Cambisol	Stagnic, Hypereutric
NM-LB-B	Cambisol	Stagnic, Hypereutric
NM-LB-C	Cambisol	Stagnic, Hypereutric
NM-CM-A	Planosol	Eutric
NM-CM-B	Planosol	Glossic, Eutric
NM-CM-C	Planosol	Glossic, Eutric

Cette classification permet d'éclairer le fait qu'il existe une faible diversité de groupes de sols au sein des aires urbaines. En effet, les 37 profils de sols étudiés n'appartiennent qu'à cinq groupes de sols différents. La considération des qualificatifs principaux nuance cette relative homogénéité compte tenu du fait qu'il ait fallu mobiliser 12 qualificatifs différents. De plus, ces résultats renseignent sur le taux de présence des sols fortement anthropisés au sein des aires urbaines. Dix-neuf sols des 37 sols échantillonnés appartiennent aux groupes des Technosols et Anthrosols : 51% des sols urbains échantillonnés au cours de ce doctorat sont des sols fortement anthropisés.

L'influence de la localisation spatiale et/ou de l'historique du site sur les propriétés des sols urbains

La représentation des groupes de sols correspondant à chaque site d'étude selon l'éloignement au pôle urbain indique que les sols les plus proches du pôle urbain sont les Anthrosols et les Technosols, situés aux alentours de deux et trois kilomètres du pôle urbain (Figure 78). Il est à noter que ces derniers sont ceux qui présentent la plus grande hétérogénéité de répartition spatiale, puisque certains ont été échantillonnés à plus de huit kilomètres d'un pôle urbain. Ensuite, à une moyenne de quatre kilomètres du pôle urbain ont été échantillonnés des Planosols, puis des Cambisols et enfin des Stagnosols, à sept kilomètres environ du pôle urbain.

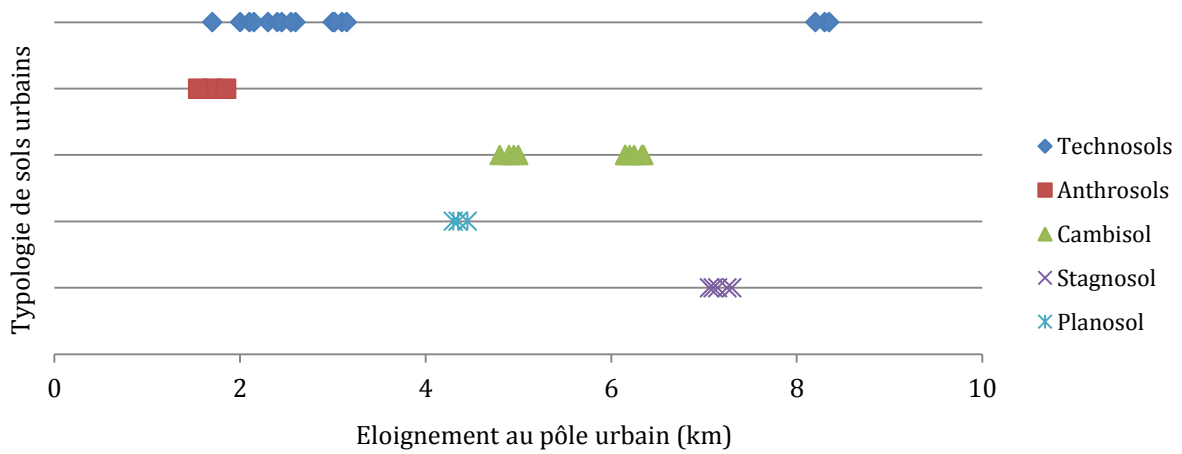


Figure 78 : Distance au pôle urbain de l'ensemble des profils de sol étudiés selon leur appartenance à un groupe de sol (n=37)

Représenter les groupes de sols en fonction de l'occupation du sol éditée selon la base de données Corinne Land Cover permet de souligner le fait que les Technosols et les Anthrosols sont le fruit d'une occupation de sols dominée par des processus d'artificialisation (Figure 79). Les Planosols sont également situés dans les territoires artificialisés, tandis que les Stagnosols sont situés dans des espaces à vocation agricole. Pour leur part, les Cambisols peuvent être situés dans les territoires artificialisés, agricoles ou forestiers. Cependant, il s'avère que les sols artificialisés des aires urbaines ne sont pas uniquement situés au sein du périmètre de l'unité urbaine, mais peuvent également être situés à plusieurs kilomètres du pôle urbain (Figure 80).

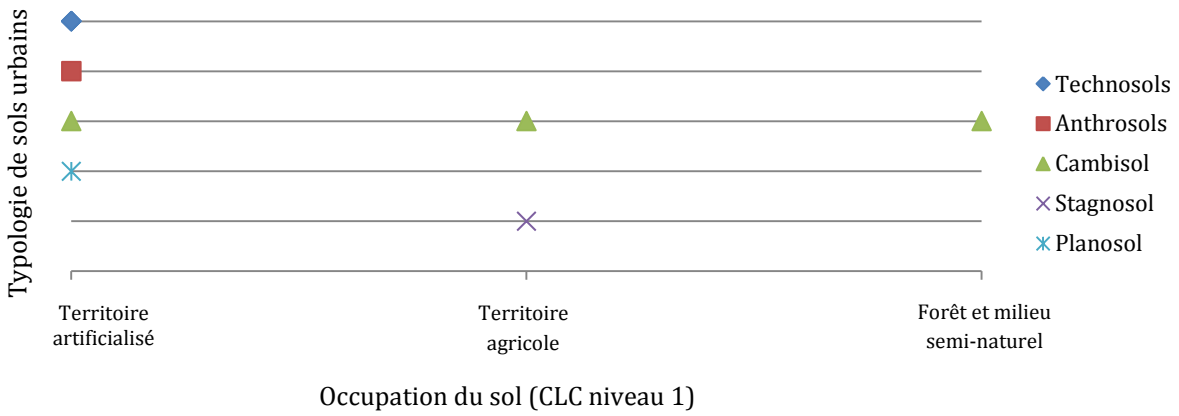


Figure 79 : Ensemble des sols urbains étudiés regroupés selon leur groupe d'appartenance (n=10) en fonction de l'occupation de sol

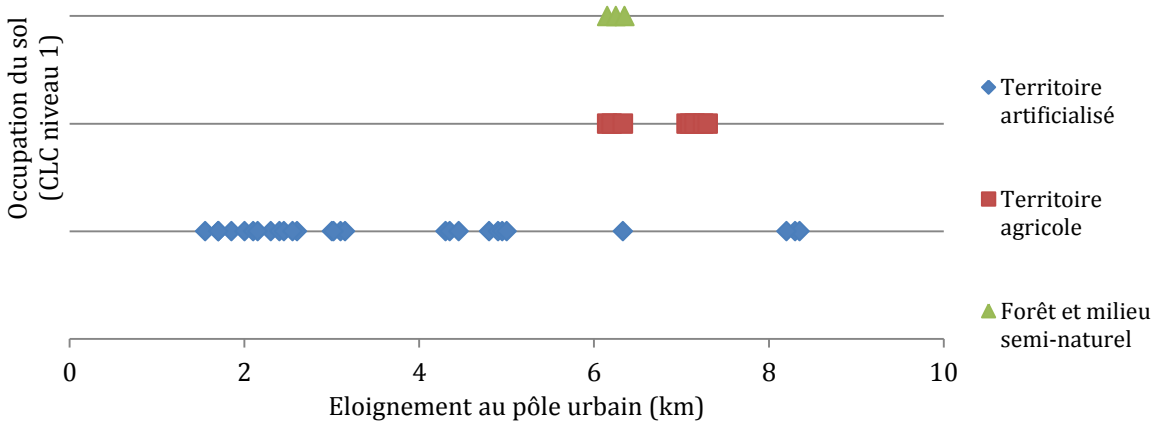


Figure 80 : Occupation du sol en fonction de l'éloignement au pôle urbain pour l'ensemble des profils de sol étudiés (n=37)

De plus, parmi les Technosols, peuvent se différencier des sols Spolic ou Urbic, en fonction de l'origine industrielle ou urbaine des artéfacts. A ce titre, il est intéressant de constater que les Technosols Urbic sont les Technosols proches du pôle urbain, tandis que les Technosols Spolic, sont ceux les plus éloignés du pôle urbain (Figure 81).

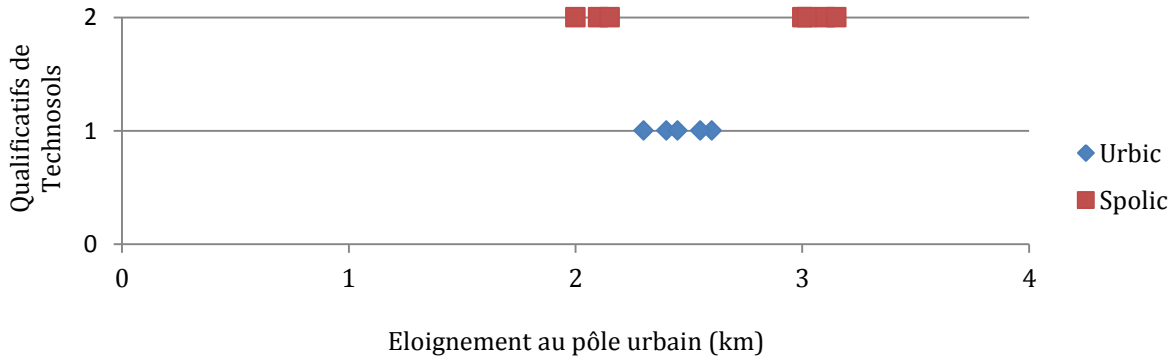


Figure 81 : Origine urbaine ou industrielle des artéfacts de l'ensemble des Technosols étudiés (tous horizons) en fonction de l'éloignement au pôle urbain (n=13)

L'influence des aires urbaines, des typologies de projets urbains et des sites d'étude sur le degré de modification anthropique des sols urbains

L'ACP réalisée sur l'ensemble des paramètres physiques et chimiques des échantillons de sols permet de comprendre qu'il existe une différence de propriétés physiques et chimiques entre les sols appartenant au groupe « Techno-Anthrosol » et ceux appartenant au groupe « Non Techno-Anthrosol ». Ces différences semblent essentiellement expliquées par l'axe 1 (Figure 82). Par exemple, les valeurs des propriétés physiques et chimiques des sols du groupe « Non Techno-Anthrosol » sont majoritairement expliquées par des paramètres comme la MV_{app}, la densité racinaire, le pourcentage de limons ou encore les teneurs en Cr, Ni et Co. De manière différente, le groupe « Techno-Anthrosol » est essentiellement corrélé avec des paramètres tels que le $CaCO_3$tot, la teneur en éléments grossiers, le pourcentage d'An et d'At, ou encore la fraction anthropique. De plus, il est possible d'affirmer que le groupe des « Techno-Anthrosol » est celui qui présente une plus grande variabilité dans ses valeurs de paramètres physiques et chimiques, compte tenu de l'importante dispersion de ses points sur le graphique des individus.

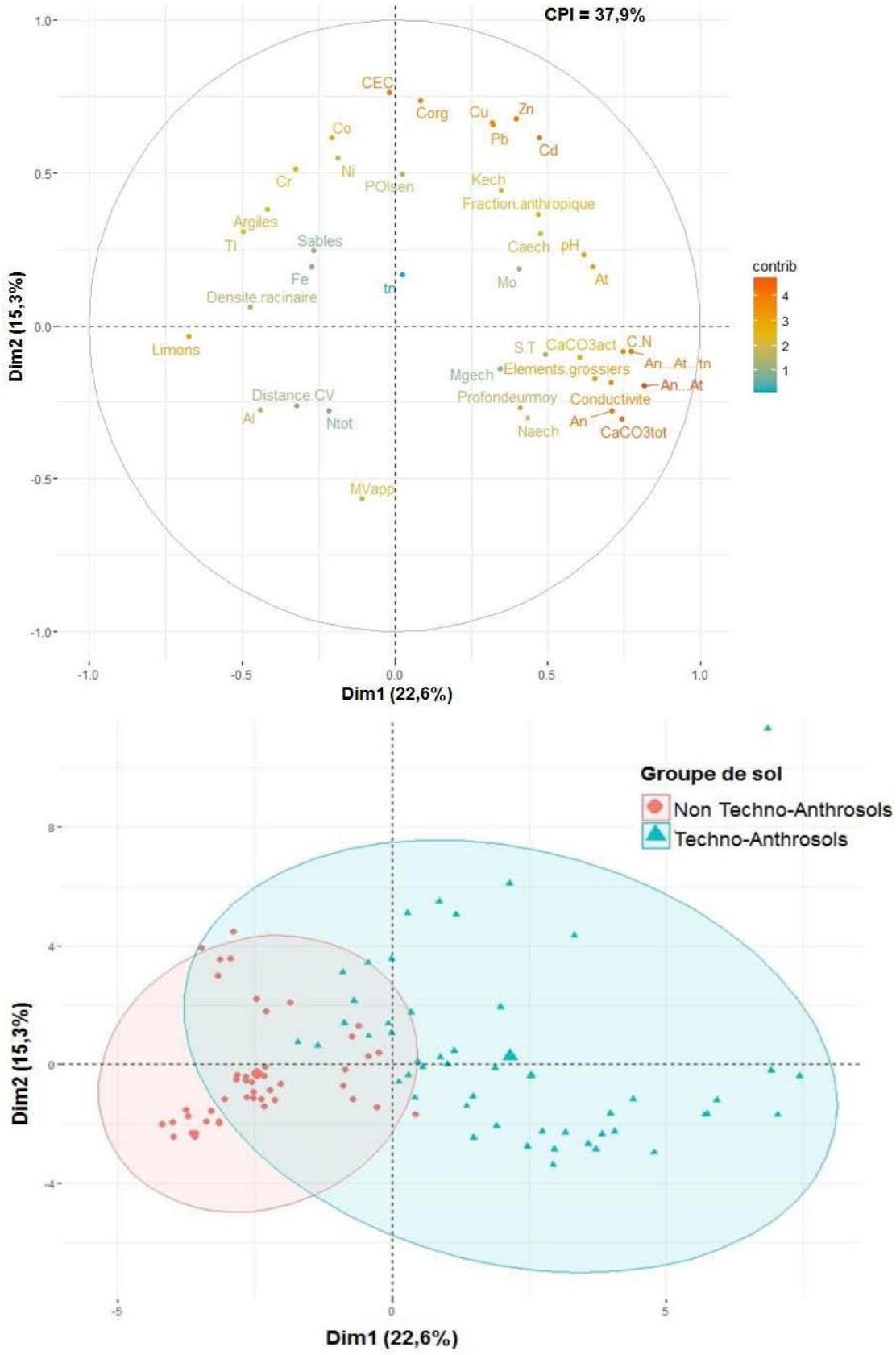


Figure 82 : Cercle de corrélation des variables physiques et chimiques analysées (haut) et graphique des individus selon leur appartenance à un groupe de sol (bas) pour l'ensemble des profils (n=37) et horizons (n=96) des sols urbains étudiés
ACP réalisée avec RStudio grâce aux packages FactoMineR et factoextra et à la fonction dudi.pca

Les résultats des analyses statistiques permettent de mettre en avant que les propriétés physiques et chimiques de certains sols sont expliquées essentiellement par des caractéristiques géologiques (Figure 77c et Figure 82). C'est le cas par exemple d'Euromed (MAMP) et du Plan d'Aou (MAMP), sensiblement expliqués par la teneur en calcaire total. C'est également le cas du site de La Haie Cerlin (MGN), dont les caractéristiques des sols sont fortement corrélées avec le pourcentage d'argiles, ou encore des sites de La Boissière (NM), de La Jaguère (NM) ou encore du Champ de Manœuvre (NM), dont les caractéristiques des sols semblent être liées au pourcentage de limons. De plus, ces représentations permettent d'indiquer que les caractéristiques physiques et chimiques de certains sols semblent également dépendre de variables telles que la fraction anthropique, le pourcentage d'artéfacts technogéniques et naturels ou encore la teneur en Pb, Zn ou Cd. En effet, les représentations de l'ACP soulignent le fait que les caractéristiques physiques et chimiques des sols appartenant au groupe « Techno-Anthrosol » sont fortement expliquées par les variables An, At, Cd, Pb, Zn ou encore le pourcentage de fraction anthropique. De manière différente, les sols appartenant à l'autre groupe sont plutôt liés aux variables Ni, Co et Cr.

Ces différences de caractéristiques physiques et chimiques des sols sont plus faiblement présentes selon les typologies de projets urbains (Figure 77b et Figure 82). Les graphiques permettent en effet de rendre compte que les caractéristiques des sols d'écoquartiers sont sensiblement expliquées par les caractéristiques propres au groupe « Techno-Anthrosol ». De manière sensiblement différente, les caractéristiques des sols de projets en extension urbaine sont davantage expliquées par les caractéristiques propres aux « Non Techno-Anthrosol ». Concernant les sols des projets en renouvellement urbain, leurs caractéristiques physico-chimiques semblent expliquées par celles propres aux deux groupes de sols distincts dans ce doctorat.

Enfin, des différences se retrouvent également selon les aires urbaines (Figure 77a et Figure 82). Cependant, il apparait que ces différences entre les aires urbaines sont sensiblement liées à des variables géologiques plutôt qu'expliquées par des caractéristiques intrinsèques aux Technosols, Anthrosols et autres groupes de sols. En effet, il s'avère que les caractéristiques physiques et chimiques des sols des sites de MAMP sont sensiblement corrélées avec la teneur en Ca_{tot}. Celles des sites de MGN sont davantage expliquées par la teneur en argiles. De manière différente, il s'avère que les caractéristiques des sols des sites de NM sont fortement expliquées par les teneurs en limons.

IV.1.3. La description des caractéristiques physiques et chimiques des sols fortement impactés par les activités humaines

Les corrélations des paramètres physiques et chimiques par groupe de sols

Il existe des différences de propriétés physico-chimiques entre les groupes des « Techno-Anthrosol » et le groupe des « Non Techno-Anthrosol » (Figure 83). Tout d'abord, les sols du groupe « Techno-Anthrosol » présentent des corrélations entre les variables CEC, P_{Olsen} et C_{org}, entre les variables Cu, Pb, Cd, Zn et fraction anthropique ou encore entre les variables An, At et éléments grossiers. Ces corrélations ne se retrouvent pas forcément pour le groupe « Non Techno-Anthrosol », qui présente plutôt des corrélations entre les teneurs en Cr, Co et Ni. De plus, il s'avère que les sols du groupe « Techno-Anthrosol » présentent une corrélation négative entre la densité racinaire et la conductivité, qui n'est pas présente pour les sols de l'autre groupe.

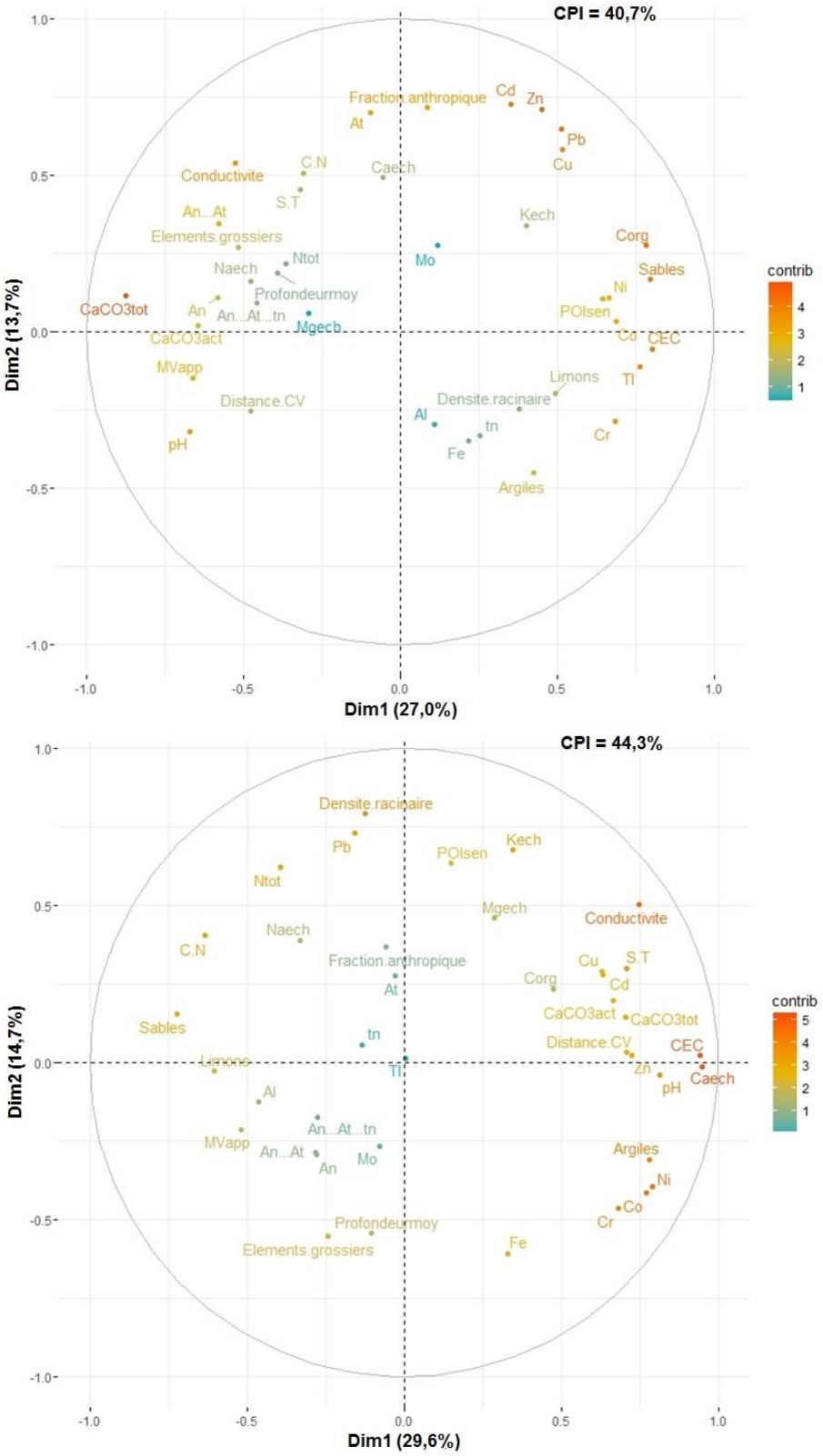


Figure 83 : Cercles de corrélation des variables physiques et chimiques analysées pour l'ensemble des horizons de sols urbains appartenant au groupe « Techno-Anthrosol » (n=51) (haut) et l'ensemble des profils et horizons des sols urbains appartenant au groupe « Non Techno-Anthrosol » (n=45) (bas) - ACP réalisée avec RStudio grâce aux packages FactoMineR et factoextra et à la fonction dudi.pca - Les variables les plus contributives sont proches de la couleur orange et éloignées du centre du cercle, tandis que celles les moins contributives sont proches de la couleur bleue et proches du centre du cercle

Les particularités des paramètres physiques et chimiques des Technosols et Anthrosols

Les Technosols et Anthrosols présentent un pH différent de celui des sols plus naturels (Figure 84). En effet, il s'avère que la valeur médiane du pH des Cambisols, Stagnosols et Planosols est de 7,2, quand elle est de 8,3 pour les Technosols et Anthrosols. De plus, ce sont ces premiers qui présentent une plus grande diversité dans leur valeur de pH. En effet, si l'écart-type des valeurs de pH pour le groupe « Techno-Anthrosol » est de 0,4, il est de 1,3 pour l'autre groupe.

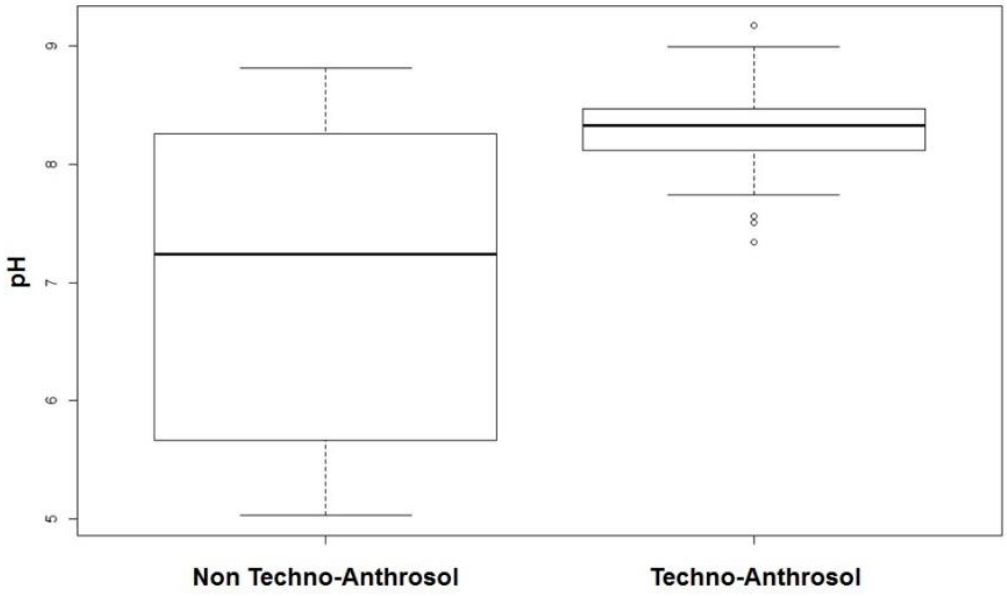


Figure 84 : Comparaison des valeurs de pH pour les profils et horizons des sols urbains étudiés, selon leur appartenance aux groupes « Non Techno-Anthrosol » (n=45) ou « Techno-Anthrosol » (n=51)

Une autre différence entre les sols des groupes « Techno-Anthrosol » et « Non Techno-Anthrosol » réside dans leur teneur en Ca_{tot} (Figure 85). Il s'avère que, en considérant uniquement les sols de MGN et de MAMP, les Technosols et Anthrosols présentent une valeur médiane de $CaCO_3$ plus élevée que celle des autres sols (402,0 $g.kg^{-1}$ pour les Technosols et Anthrosols et 266,5 $g.kg^{-1}$ pour les autres sols). Ce sont également ces sols qui présentent une plus grande diversité de valeurs en $CaCO_3$. L'écart-type des valeurs de ce groupe est en effet de 270,3 $g.kg^{-1}$ quand il est de 145,6 $g.kg^{-1}$ pour l'autre groupe.

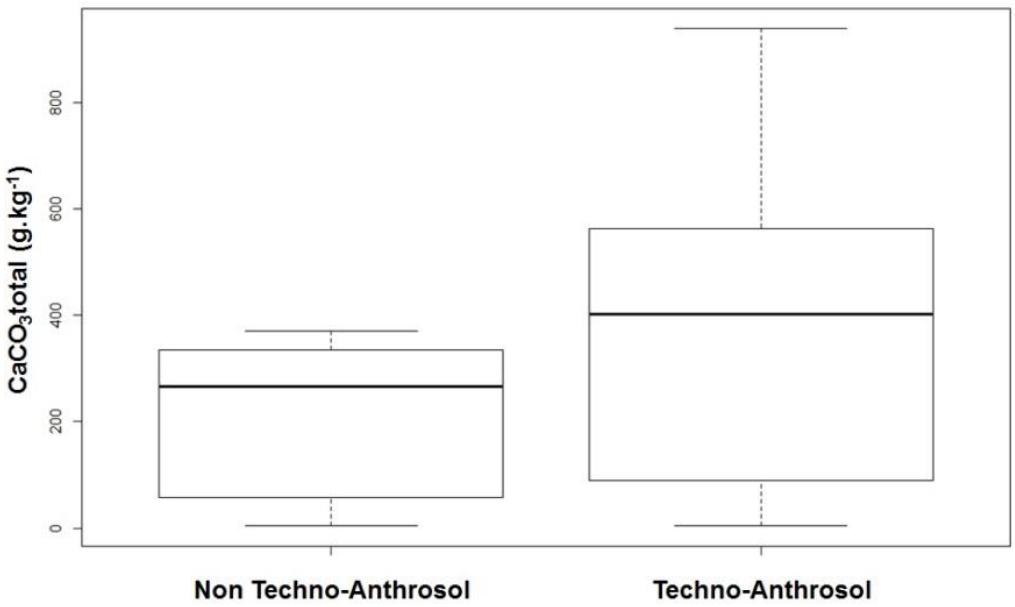


Figure 85 : Comparaison des teneurs en calcaire total pour les profils et horizons des sols urbains échantillonnés au sein des aires urbaines de MGN et MAMP (n=65), selon leur appartenance aux groupes « Non Techno-Anthrosol » (n=14) ou « Techno-Anthrosol » (n=51)

Les sols du groupe « Techno-Anthrosol » sont ceux qui présentent un plus fort pourcentage d'éléments grossiers dans leurs horizons (Figure 86). La valeur médiane du pourcentage d'éléments grossiers dans les Technosols et Anthrosols est de 37,2%, et de 12,8% pour les sols de l'autre groupe. Ce sont les sols appartenant au groupe « Techno-Anthrosol » qui présentent une plus grande diversité de teneurs en éléments grossiers, avec un écart-type de 21,0%. L'écart-type pour les sols du groupe « Non Techno-Anthrosol » est de 13,0%.

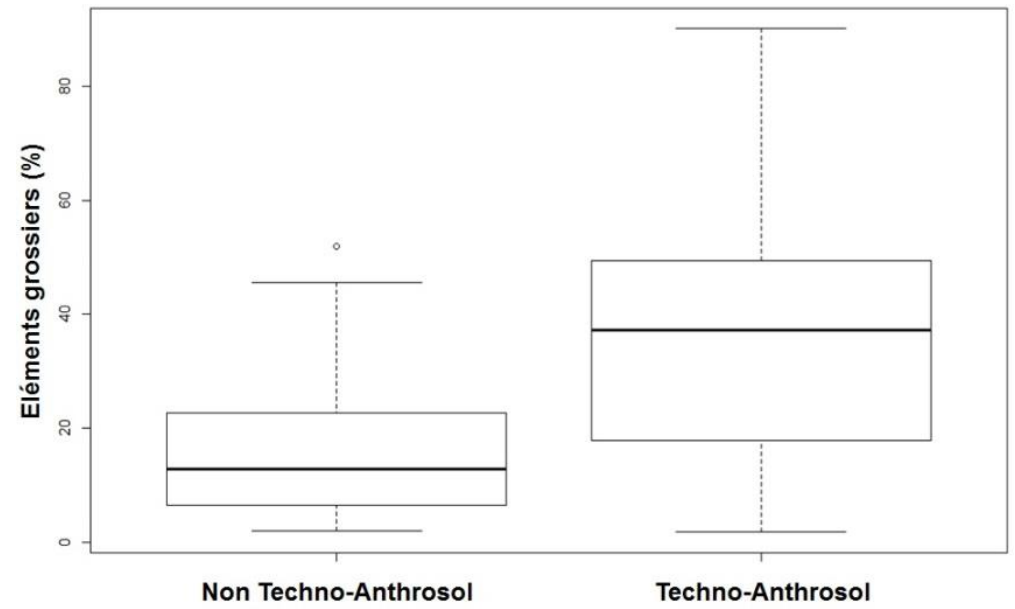


Figure 86 : Comparaison des pourcentages en éléments grossiers pour les profils et horizons des sols urbains étudiés, selon leur appartenance aux groupes « Non Techno-Anthrosol » (n=45) ou « Techno-Anthrosol » (n=51)

La valeur médiane de C_{org} pour les Technosols et Anthrosols est de 8,3 $g.kg^{-1}$, quand elle est de 4,5 $g.kg^{-1}$ pour les sols de l'autre groupe (Figure 87). De plus, ce sont ces premiers qui présentent une grande hétérogénéité dans leur teneur en C_{org}. En effet, certains sols de ce groupe présentent des teneurs allant jusqu'à 112,0 $g.kg^{-1}$, alors que les teneurs les plus élevées en C_{org} des horizons des sols appartenant au groupe « Non Techno-Anthrosol » n'atteignent que 36,4 $g.kg^{-1}$.

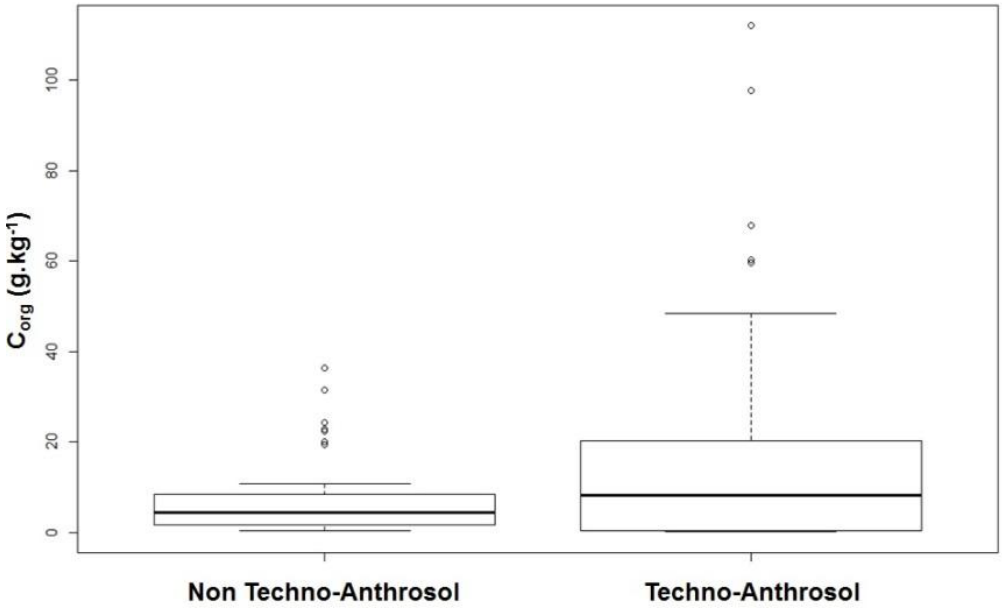


Figure 87 : Comparaison des teneurs en carbone organique pour les profils et horizons des sols urbains étudiés, selon leur appartenance aux groupes « Non Techno-Anthrosol » (n=45) ou « Techno-Anthrosol » (n=51)

Ces différences dans les teneurs en C_{org} se retrouvent également en les comparant en fonction des horizons (Figure 88). Pour les deux groupes de sol, ce sont essentiellement les horizons de surface qui présentent les teneurs les plus élevées (11,0 $g.kg^{-1}$ pour « Techno-Anthrosol » et 9,9 $g.kg^{-1}$ pour « Non Techno-Anthrosol »). Ces valeurs sont inférieures pour les horizons plus profonds (2,1 $g.kg^{-1}$ pour « Techno-Anthrosol » et 2,5 $g.kg^{-1}$ pour « Non Techno-Anthrosol »). Ces résultats indiquent que les horizons de surface des Technosols et Anthrosols présentent des teneurs en C_{org} plus élevées et plus variables que celles des horizons de surface des Cambisols, Stagnosols et Planosols étudiés. A l'inverse, les horizons inférieurs des sols du groupe « Non Techno-Anthrosol » présentent des teneurs sensiblement plus élevées que celles du groupe « Techno-Anthrosol ». Cependant, là encore, ce sont les horizons plus profonds des Technosols et Anthrosols qui présentent une plus grande variabilité dans les teneurs en C_{org} (écart-type de 23,0, écart-type de 4,0 pour les « Non Techno-Anthrosol »).

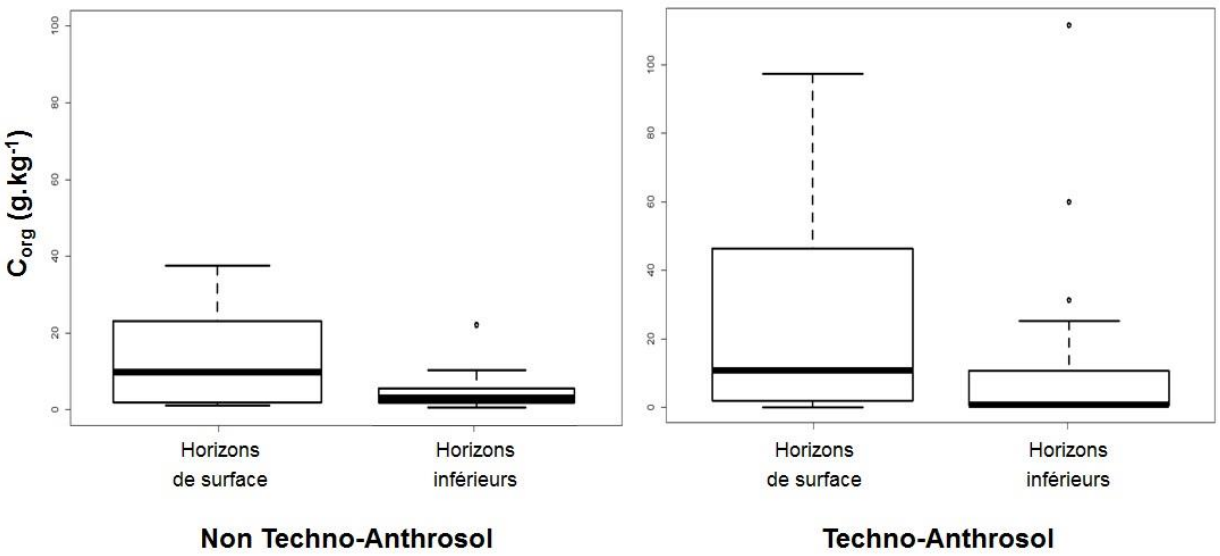


Figure 88 : Comparaison des teneurs en carbone organique de l'ensemble des profils de sol étudiés, selon leur appartenance aux horizons de surface (n=16) ou inférieurs (n=29) pour les « Non Techno-Anthrosol » et aux horizons de surface (n=19) ou inférieurs (n=32) pour les « Techno-Anthrosol »

Les résultats des analyses de sols indiquent qu'un apport en terre végétale pour des Technosols et Anthrosols permet un meilleur développement racinaire (Figure 89). La densité racinaire des Technosols et Anthrosols échantillonnés peut atteindre 65% sans apport de terre végétale, mais n'atteint 100% que sous condition d'un apport en terre végétale de près de 100%.

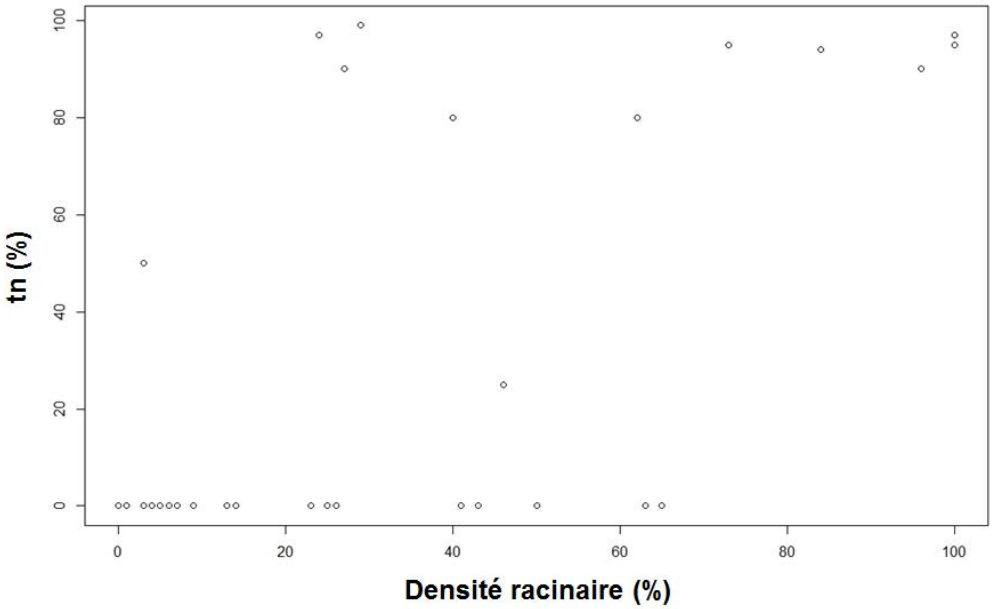


Figure 89 : Densité racinaire selon l'apport en terre végétale (tn) pour l'ensemble des horizons (n=51) et des profils (n=16) des sols urbains étudiés appartenant aux groupes des Technosols et Anthrosols

Les sols ayant été le siège d'une anthropisation se caractérisent par des horizons de surface présentant des teneurs plus élevées en C_{org} (Figure 88) et en tn (Figure 89), mais également en N_{tot} ou encore en matière organique (MO) (Figure 90) que celles des horizons plus profonds.

Ces particularités se rencontrent également dans les profils des sols moins modifiés par l'activité humaine (Figure 90).

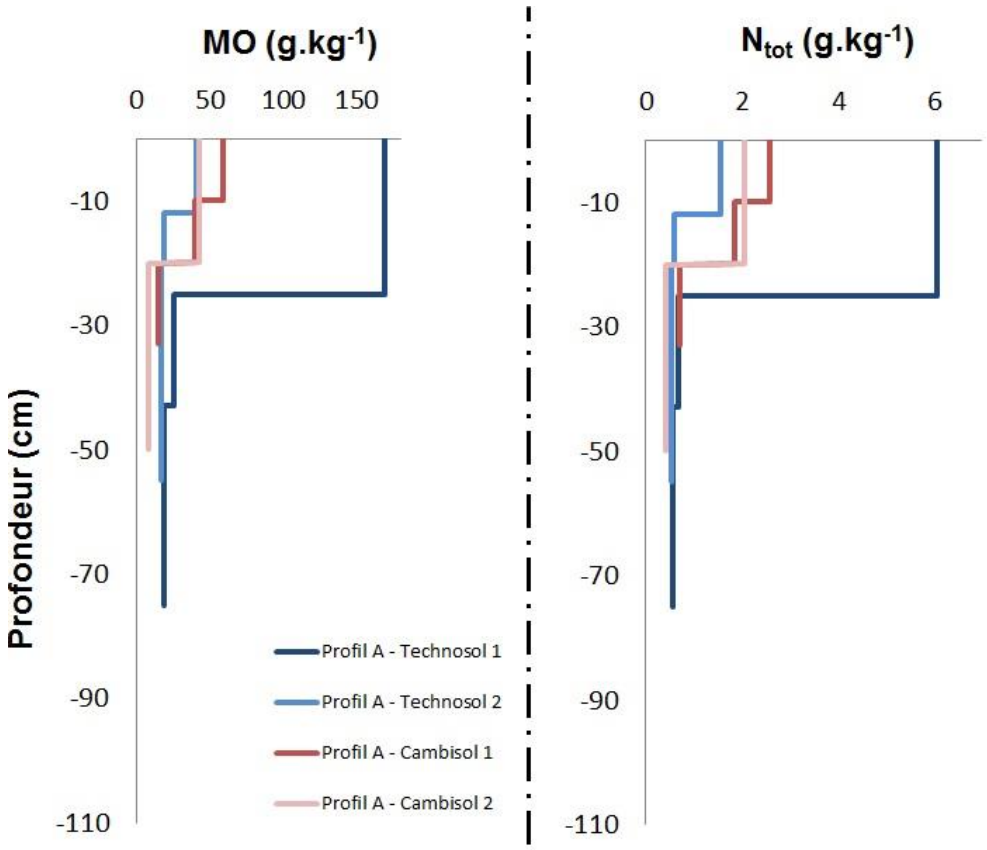


Figure 90 : Evolution des teneurs en matière organique (gauche) et en azote totale (droite) selon la profondeur du profil de sol pour deux Technosols et deux Cambisols (n=4)

Cependant, les Technosols se caractérisent également par des teneurs en Cd, Pb et Zn variables selon la profondeur de l'horizon, et ce, sans logique de distinction entre horizon de surface et horizons plus profonds (Figure 90). De manière sensiblement différente, les Planosols, Stagnosols et Cambisols se caractérisent par des teneurs en ces métaux relativement plus faibles que celles rencontrées dans les Technosols. Ces teneurs, pour les Cambisols et Planosols notamment, diminuent avec la profondeur du sol (Figure 91).

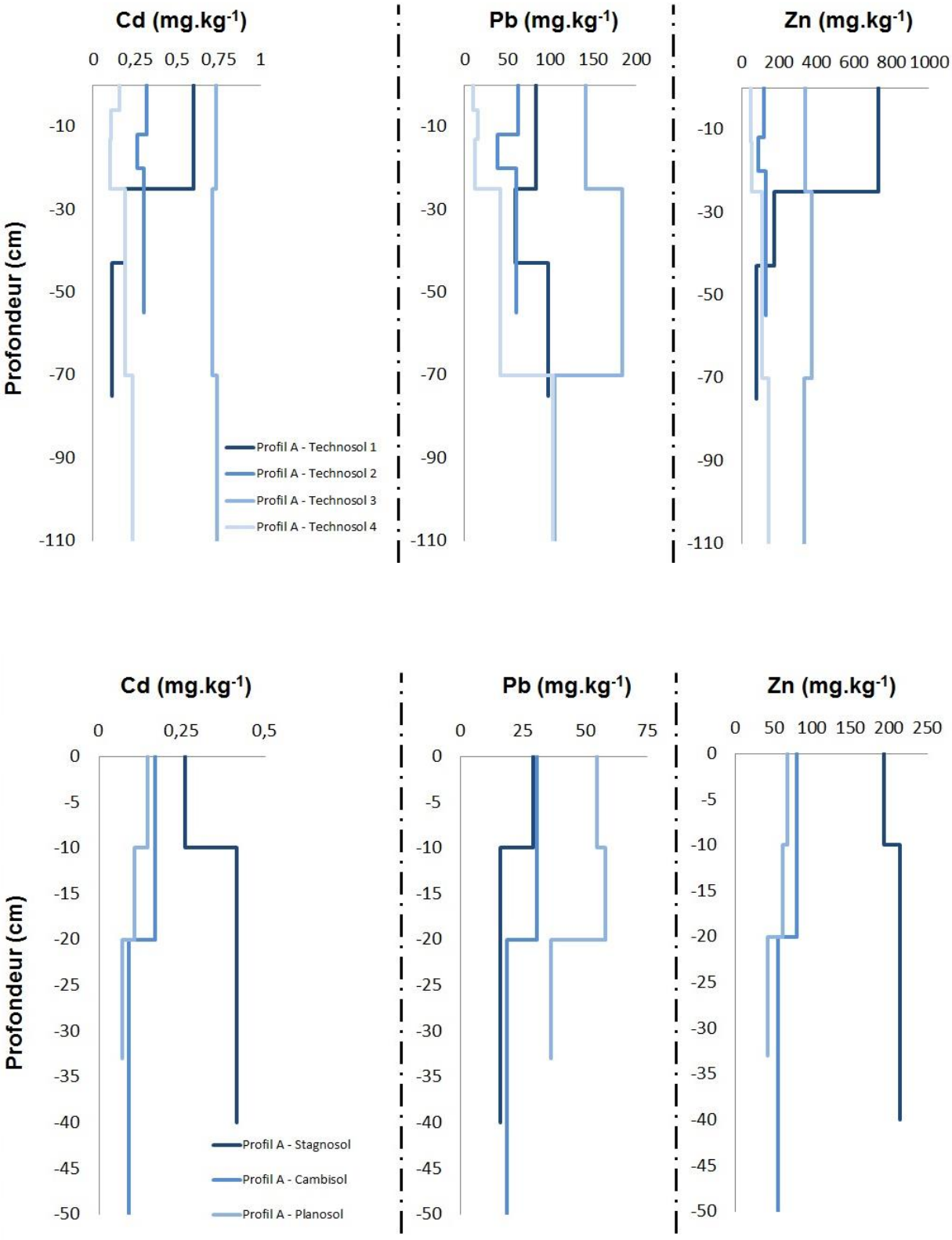


Figure 91 : Evolution des teneurs en zinc (gauche), plomb (centre) et en cadmium (droite) selon la profondeur du profil de sol pour un Stagnosol, un Cambisol et un Planosol (n=3)

IV.1.4. La définition d'indicateurs d'état des sols urbains

Les corrélations entre paramètres physiques et chimiques des sols appartenant au groupe « Techno-Anthrosol » et au groupe « Non Techno-Anthrosol » semblent présenter des différences. Celles-ci résident dans le fait que le groupe « Techno-Anthrosol » présente (i) moins de corrélations dans ses paramètres physiques et chimiques que les sols de l'autre groupe et (ii) des corrélations qui lui sont propres et fortement liées aux activités humaines (Figure 92). A titre d'exemple, pour les propriétés physiques et chimiques des Technosols et Anthrosols :

- C_{org} est corrélé positivement avec CEC et P_{Olsen}, Cu, Ni et Co. Cette corrélation n'existe pas pour l'autre groupe ;
- $CaCO_3$ est corrélé positivement avec la teneur en éléments grossiers. Cette corrélation n'existe pas pour l'autre groupe ;
- P_{Olsen} est corrélé positivement avec la CEC. Cette corrélation n'existe pas pour l'autre groupe ;
- la fraction anthropique est corrélée positivement avec la CEC, Cu, Zn, Pb et Cd. Cette corrélation n'existe pas pour l'autre groupe ;
- enfin, la densité racinaire est corrélée positivement avec tn. Cette corrélation n'existe logiquement pas pour l'autre groupe.

Les Technosols et Anthrosols présentent également des corrélations négatives entre :

- C_{org} est corrélé négativement avec pH et $CaCO_3$. Cette corrélation n'existe pas pour l'autre groupe ;
- $CacO_3$ et le pH sont corrélés négativement avec CEC alors que ces corrélations sont positives pour l'autre groupe ;
- $CaCO_3$ est corrélé négativement avec Cr, Ni, Co et Tl. Cette corrélation n'existe pas pour l'autre groupe.

A l'inverse, les Cambisols, Planosols et Stagnosols présentent des corrélations dans leurs propriétés physiques et chimiques qui leur sont propres (Figure 93). C'est par exemple le cas pour les variables suivantes, corrélées positivement entre elles :

- pH et CEC ;
- CEC et S/T ;
- densité racinaire et N_{tot} et C/N ;
- Cr et Ni et Co ;
- Zn et Cd.

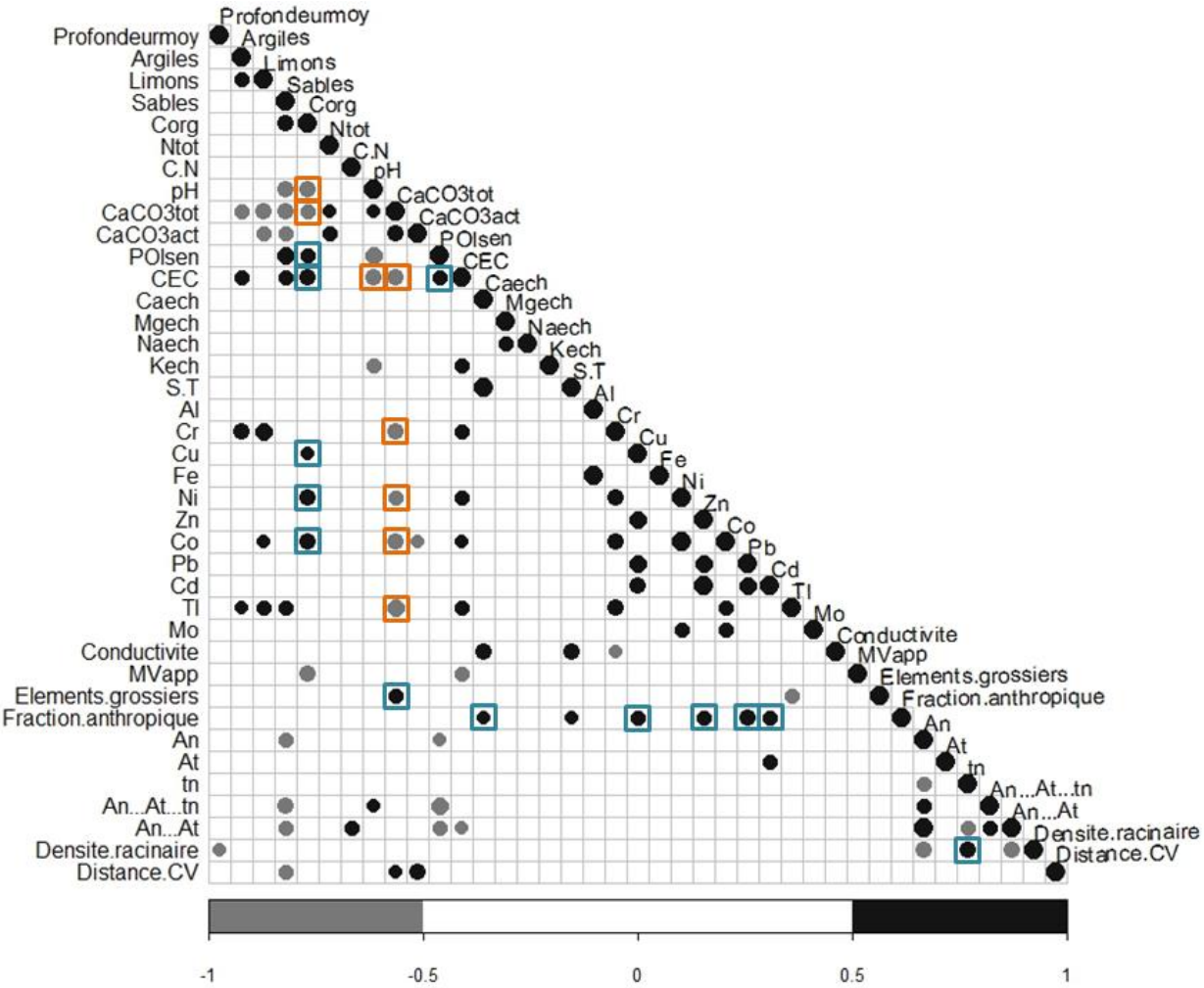


Figure 92 : Corrélograme des paramètres physico-chimiques de l'ensemble des profils (n=16) et horizons (n=51) des sols urbains étudiés appartenant au groupe « Techno-Anthrosol »
La couleur et la taille des cercles sont proportionnelles à la valeur du coefficient de corrélation entre deux variables. Les cercles noirs indiquent une corrélation positive entre deux variables, les cercles gris une corrélation négative. Les encadrés renvoient aux variables qui sont discutées dans le texte (bleu pour les corrélations positives, orange pour celles négatives)

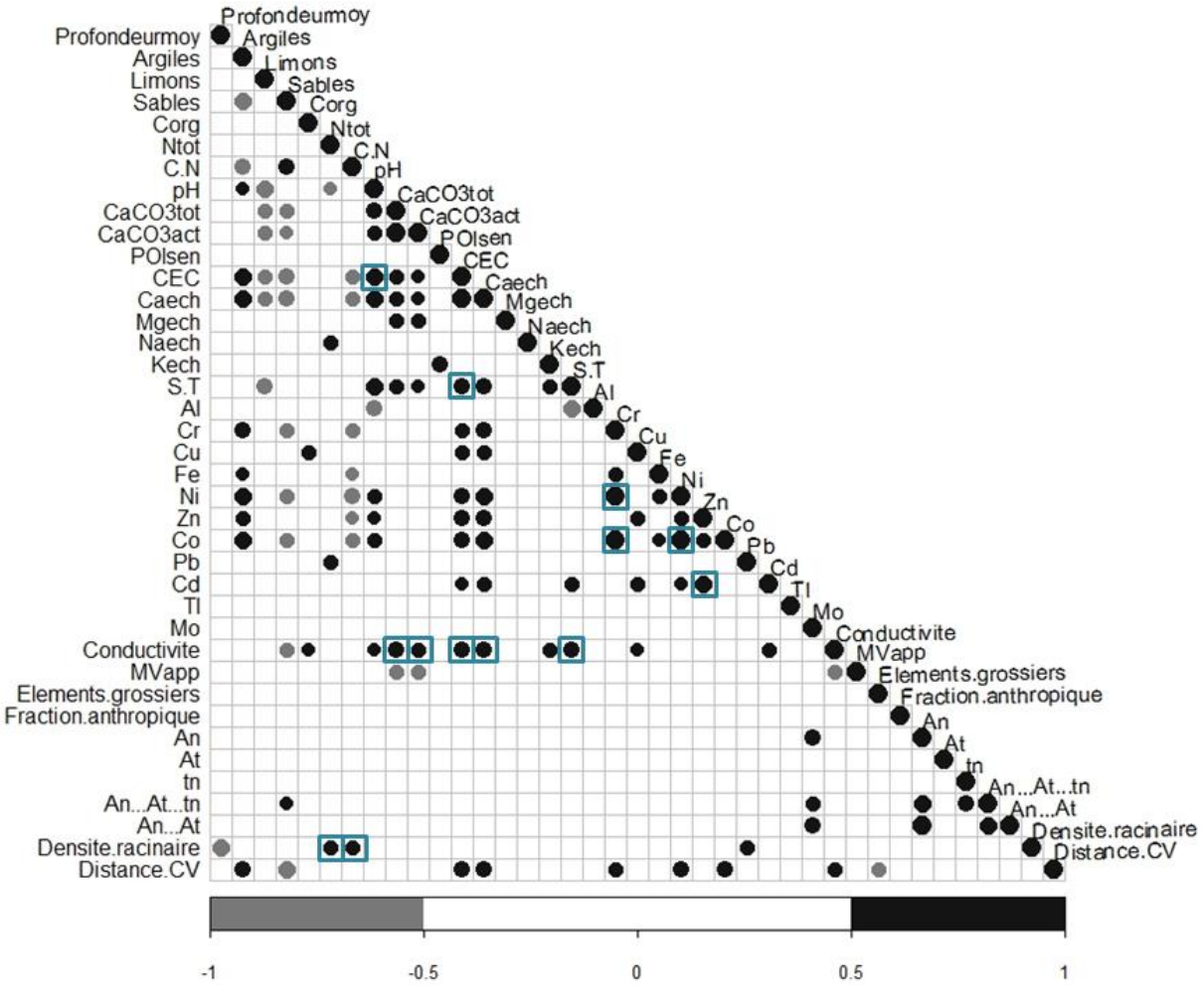


Figure 93 : Corrélograme des paramètres physico-chimiques de l'ensemble des profils (n=21) et horizons (n=45) des sols urbains étudiés appartenant au groupe « Non Techno-Anthrosol » La couleur et la taille des cercles sont proportionnelles à la valeur du coefficient de corrélation entre deux variables. Les cercles noirs indiquent une corrélation positive entre deux variables, les cercles gris une corrélation négative. Les encadrés renvoient aux variables qui sont discutées dans le texte (bleu pour les corrélations positives, orange pour celles négatives)

IV.2. Discussion

L'ACP réalisée à partir des résultats des analyses physico-chimiques de l'ensemble des sols échantillonnés admet un pourcentage d'explication de 37,9 %. Ce « faible » pourcentage peut s'expliquer par le fait que les sites d'études sur lesquels les échantillonnages ont été réalisés ne présentent pas de situation fortement contrastées. De plus, lors des analyses réalisées sur les échantillons de sol en laboratoire, les indicateurs biologiques n'ont pas été évalués. Leur évaluation aurait pu permettre une augmentation de ce pourcentage explicatif. Aussi, si ce pourcentage d'explication aurait pu être augmenté en mobilisant un plus grand nombre d'axes factoriels (64,19% si 5 axes factoriels représentés), la représentation des résultats selon 2 axes principaux permet facilement de dégager de grandes tendances quant à l'état des sols des milieux urbain et de discuter par la suite ces tendances.

IV.2.1. Le reflet du contexte pédoclimatique naturel dans les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains

Les résultats des analyses des sols échantillonnés sur les trois Métropoles françaises indiquent que les sols de MGN et MAMP présentent des similitudes en termes de teneur en argiles, de concentrations en $CaCO_3$ et de gamme de pH. Ceci résulte du fait que ces sols se sont développés sur des formations géologiques similaires, qui sont en particulier marquées par la présence de marnes (Infoterre, BRGM). De manière sensiblement différente, les sols de NM se sont développés sur une roche formée par l'accumulation de limons issus de l'érosion éolienne (Infoterre, BRGM). Ceci coïncide avec les teneurs élevées en limons de ces sols.

Les analyses indiquent également que les sols de MGN et MAMP se distinguent par la présence de traces d'hydromorphie. En effet, la description des sols de MGN montre des horizons dont certains caractères sont liés à des marques physiques d'une saturation régulière en eau. Ces traces d'hydromorphie ne se retrouvent pas, ou de manière exceptionnelle, dans les profils de sol décrits au sein de MAMP. Ces différences de caractéristiques résultent d'une différence de contexte climatique entre ces deux aires urbaines. En effet, les sols hydromorphes ont plus tendance à se développer dans un climat humide (Pollet, 2009), ce qui n'est pas le cas de celui de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

L'ensemble de ces résultats est compatible avec les éléments de la littérature, qui avancent (i) qu'il existe toujours dans les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains le reflet de la composition du contexte pédologique sur lequel ils se développent (Norra *et al.*, 2006 ; El Khalil *et al.*, 2013) et (ii) que le contexte climatique influence naturellement certaines de ces propriétés (ADEME, 2016).

IV.2.2. Les conséquences de l'anthropisation sur les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains

En milieu urbain, l'anthropisation est classiquement décrite comme engendrant une modification drastique des propriétés des sols (voire éventuellement leur remplacement ou leur ablation) afin qu'elles puissent satisfaire aux usages attendus (*e.g.* support de végétation, de bâtiment ou de voies de circulation) (El Khalil *et al*., 2013). Il en résulte une modification des propriétés bio-physico-chimiques et de la composition de ces sols anthropisés (Vitousek *et al.*, 1997) qui les distinguent alors des sols naturels (Norra *et al*., 2006). Les résultats permettent d'éclairer l'influence de l'anthropisation sur les propriétés et la composition des sols.

L'influence de l'anthropisation sur les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains

De nombreuses propriétés bio-physico-chimiques des sols anthropisés sont influencées par les processus d'activités humaines. En premier lieu, les sols anthropisés se différencient des sols agricoles et forestiers par leur pH plus basique. Cette particularité peut en particulier s'expliquer par la présence de béton et de gravats, conduisant à un phénomène d'alcalinisation (Rokia *et al.*, 2014). Ce processus s'explique aussi par l'apport de déchets urbains ou industriels dans les horizons de sol (Morel *et al.*, 2005), qui va alors de pair avec une augmentation de la concentration en Cu. Cette tendance est confirmée par les résultats concernant les sols les plus anthropisés.

De manière plus surprenante, l'anthropisation des sols des aires urbaines peut également induire des teneurs en N_{tot} et C_{org} élevées dans certains horizons. Cette particularité des sols urbains s'explique par les apports en terre végétale et en amendements organiques lorsque l'objectif du projet urbain est par exemple la création d'un parc ou le développement d'un jardin à vocation de production de biomasse alimentaire (Da Cunha, 2009). Les résultats témoignent de teneurs en N_{tot} nettement supérieures à celles rencontrées dans les SUITMA et présentées par Joimel *et al*. (2016). Ceci peut s'expliquer par le fait que, parmi les sites échantillonnés, plusieurs étaient (anciennement) occupés par des activités agricoles. Des incorporations de matière organique et d'engrais minéraux ont ainsi pu être faites, augmentant considérablement les teneurs en N_{tot} des horizons supérieurs (Joimel *et al*., 2016). Les teneurs élevées en N_{tot} peuvent aussi être liées à l'incorporation de déchets anthropiques dans les horizons de sol, comme c'est le cas de la friche urbaine de MAMP.

S'il est bien connu que le fond géochimique est susceptible d'alimenter le sol en éléments traces métalliques (De Miguel *et al.*, 1999 ; Boularbah *et al*., 2006 ; Norra *et al*., 2006), il apparaît que certaines activités humaines contribuent à l'augmentation des teneurs en métaux lourds

dans les horizons de sol (Moon *et al.*, 1999 ; Loredo *et al.,* 2003 ; Möller *et al.,* 2005 ; Morel *et al*., 2005 ; Scharenbroch *et al*., 2005 ; El Khalil *et al.*, 2008). A ce titre, les sols urbains se caractérisent par des teneurs en polluants (*e.g.* Cd, Pb, Zn) sensiblement plus élevées que celles de sols agricoles ou forestiers. Ceci s'explique notamment par : (i) les pratiques de jardinage avec apports massifs et répétés de produits phytopharmaceutiques et d'engrais (Saby *et al.*, 2011 ; Belon *et al.*, 2012 ; Schwartz, 2013), (ii) les retombées atmosphériques de microparticules dues à la circulation (El Khalil *et al.*, 2008), (iii) le recours à des matériaux de remblais de diverses origines et la construction de bâtiments et d'infrastructures (Scharenbroch *et al.*, 2005). Dans notre cas, la dispersion des valeurs mesurées est plus faible que celles observées sur les échantillons de SUITMA étudiés par Joimel *et al.* (2016). Ceci peut s'expliquer par le fait que peu de sols considérés étaient d'une part concernés par des pratiques de jardinage/maraîchage (La MJC (MGN)) et d'autre part situés à proximité d'infrastructures routières majeures.

Enfin, l'anthropisation peut avoir un effet sur la valeur moyenne de masse volumique apparente. Pour les profils de sols étudiés, cette valeur est légèrement inférieure aux valeurs des horizons de surfaces des sols français (moyenne de 1,3 $t.m^{-3}$, RMQS). Les masses volumiques apparentes les plus élevées sont associées à des horizons avec une faible charge en éléments grossiers et une forte teneur en argiles granulométriques. A l'inverse, les valeurs les plus faibles ont été mesurées sur des sols avec des concentrations élevées en carbone organique et pour de fortes densités racinaires. De plus, les sols naturels se caractérisent par des valeurs plus faibles dans les horizons de surface que dans les horizons inférieurs. Ce n'est pas systématique pour les sols urbains, pour lesquels certaines valeurs faibles de masse volumique apparente ont été mesurées sur des horizons de profondeur.

L'influence de l'anthropisation sur la genèse et la composition des sols urbains

Pour un sol naturel, les étapes de formation se succèdent en (i) une altération physico-chimique du matériau-parent sous l'influence du climat, de l'activité biologique et des actions anthropiques, (ii) une incorporation et une évolution de matière organique issue des végétaux et des organismes vivant sur et dans le sol et (iii) une différenciation des horizons (Arnaud *et al.*, 2015). Au cours du temps et lors de chacune de ces étapes, des horizons se dessinent, et leurs propriétés biologiques, physiques et chimiques sont conditionnées par la nature du matériau-parent. L'évolution d'un sol en milieu urbain peut sensiblement suivre les mêmes étapes, à condition qu'il n'ait pas subi de modifications anthropiques majeures. En effet, les sols fortement anthropisés se caractérisent, dans leur définition pédologique, par une composition, dans le premier mètre, d'au moins 20% d'artéfacts : « matériaux créés, substantiellement modifiés ou excavés à la surface par l'Homme » (IUSS, 2014). Cette présence

d'artéfacts est à l'origine de certaines spécificités de l'évolution pédogénétique des sols fortement anthropisés. Les artéfacts ont des propriétés qui peuvent s'éloigner très significativement des matériaux-parents géologiques naturellement présents sur un site (Huot *et al.*, 2014), et constituent alors pour les sols des horizons qui ne présentent plus de lien génétique avec les horizons naturels inférieurs. Ces discontinuités de propriétés biologiques, physiques et chimiques au sein d'un même profil de sol conditionnent le fonctionnement du sol. En effet, les modifications anthropiques des horizons des sols urbains peuvent avoir des effets sur la circulation de l'eau ou encore le développement racinaire. Si par exemple, une couche de bitume est retrouvée au sein d'un profil de sol, résultant de la présence d'une ancienne route, elle entrainera logiquement une rupture dans le développement vertical des racines et une stagnation des eaux dans l'horizon concerné.

Outre le fait d'avoir un rôle sur la composition des sols urbains, l'anthropisation influence également la cinétique d'évolution de ces sols. En effet, qu'il soit peu ou fortement anthropisé, un sol urbain est un système dynamique, dont les propriétés bio-physico-chimiques évoluent au cours du temps (Samouëlian *et al.*, 2007). Néanmoins, les campagnes de description des sols urbains, ainsi que les éléments de la littérature tendent à souligner le fait que la diversité des processus pédogénétiques au sein d'un sol fortement anthropisé est généralement supérieure à celle rencontrée pour un sol naturel, et ce pour un même laps de temps (Séré *et al.*, 2010). La cinétique d'évolution d'un sol anthropisé est variable selon les modifications anthropiques subies, mais peut s'avérer très rapide en cas de changement brutal des conditions environnementales et climatiques (Leguédois *et al.*, 2016). Cette « accélération » de la pédogénèse est à l'origine d'un processus observable dans les Technosols : l'apparition de nouveaux horizons (néoformation). Dans certaines situations, et en l'espace de quelques années voire de quelques mois, il peut s'observer une différenciation des couches ou horizons présents initialement au sein d'un profil de sol fortement anthropisé (Séré *et al.*, 2010).

IV.2.3. L'approche des sols urbains par sélection d'un nombre restreint d'indicateurs d'état

Il est souvent avancé dans la littérature que la description d'un profil de sol et l'évaluation de certains indicateurs physiques et chimiques peuvent suffire à renseigner sur sa capacité à fonctionner (Bispo *et al.*, 2009b ; Cécillon, 2008 ; Chaussod, 1996). Cette approche est valable pour des sols faiblement anthropisés et dans une optique d'interprétation des potentialités des sols pour certains usages ciblés (*e.g.* agriculture, sylviculture). La question se pose alors de la possibilité de transcrire cette approche pour des sols urbains afin de permettre

une interprétation large de leurs potentialités, en particulier en termes de services écosystémiques rendus. Pour ce faire, les résultats indiquent qu'il ne semble pas réaliste de sélectionner qu'un nombre restreint d'indicateurs dans le but de caractériser l'état de fonctionnement d'un sol urbain, compte tenu notamment de leur très fortes hétérogénéités verticale et horizontale. Cependant, cette sélection d'indicateurs pourrait être réalisable si elle était adaptée en fonction des classes de sols rencontrés en milieu urbain. En effet, le référentiel qui décrit les sols a l'avantage de renseigner sur leurs grands traits de fonctionnement à partir de la seule connaissance de leur nom et des qualificatifs principaux et secondaires associés. Deux sols appartenant à deux groupes différents présentent ainsi des propriétés et un fonctionnement contrastés. A ce titre, les résultats indiquent en effet que les corrélations entre les variables physiques et chimiques des Technosols et Anthrosols d'une part et des Cambisols, Stagnosols et Planosols d'autre part, ne sont pas les mêmes. Ainsi, le nom du groupe de sol aurait l'avantage d'orienter les paramètres physiques, chimiques et biologiques à analyser afin d'en déduire l'état de fonctionnement du sol. Cette démarche peut s'avérer intéressante dans le cas d'un sol urbain faiblement anthropisé, mais n'apparait pas réaliste dans le cas d'un sol fortement anthropisé. En effet, mener une approche par sélection d'indicateurs d'état pour des sols fortement anthropisés pourrait conduire à négliger certaines caractéristiques particulières de sols fortement anthropisés. En effet, une des caractéristiques principales des Technosols est de parfois présenter des valeurs extrêmes pour certains paramètres. Les résultats indiquent par exemple que les sols du site de Biancamaria et d'Euromed sont tous des Technosols Urbic alors qu'ils ne présentent pas les mêmes propriétés physiques et chimiques. Aussi, la sélection d'un nombre restreint d'indicateurs à analyser participerait, dans ces cas particuliers, à considérer comme fonctionnant de la même manière, des sols aux comportements différents.

IV.2.4. La proportion et la répartition spatiale des sols fortement anthropisés au sein des aires urbaines

La proportion des sols anthropisés dans les aires urbaines

Les sols urbains se distinguent les uns des autres par (i) le contexte pédoclimatique dans lequel ils se sont développés et (ii) les modifications anthropiques auxquelles ils ont été soumis. Ces éléments induisent une hétérogénéité tant verticale qu'horizontale de leurs propriétés bio-physico-chimiques. A ce titre, les résultats montrent que certains sols des aires urbaines ont été épargnés de modifications anthropiques trop intenses, et peuvent être considérés comme des sols faiblement anthropisés. Ils présentent d'ailleurs des propriétés proches de celles des sols naturels développés dans le même contexte pédoclimatique. Parmi les 37 profils de sol échantillonnés, 19 (51%) peuvent être qualifiés de sols fortement

anthropisés, appartenant aux groupes des Technosols et Anthrosols. Cela signifie que 18 sols (49%), bien que situés dans le périmètre d'une aire urbaine, ne sont pas affectés significativement par l'anthropisation. Ce résultat original va à l'encontre de l'a *priori* existant qui a tendance à rattacher systématiquement les sols urbains aux classes des Technosols ou des Anthrosols.

Le degré d'anthropisation des sols urbains est fortement corrélé à l'historique d'usages des sols

Au sein du territoire d'une aire urbaine, les sols sont, en réalité, affectés de manière extrêmement contrastée par les processus d'anthropisation résultant des occupations et usages passés. Les sols échantillonnés au sein de NM ont successivement connu des usages de type forestiers, agricoles et espaces verts urbains qui se sont traduits par un niveau à peine perceptible d'anthropisation. A l'inverse, plusieurs sols échantillonnés au sein de MGN et MAMP se caractérisent par une modification anthropique intense (Plateau de Haye (MGN) : industrie chimique ; Biancamaria (MGN) : activités militaires) qui se reflètent très nettement dans leurs propriétés bio-physico-chimiques. Il semble alors que la nature, la fréquence de changements et la durée d'utilisation des sols impactent de manière dominante les propriétés des sols urbains (Craul, 1992 ; Morel *et al.,* 2005).

A ce titre, une analyse des différentes occupations et de l'historique du changement d'usages des sols urbains en étudiant des cartes géologiques, hydrogéologiques et des photographies aériennes pourrait permettre d'émettre des hypothèses quant aux caractéristiques bio-physico-chimiques d'un sol urbain.

La répartition spatiale des sols anthropisés au sein d'une aire urbaine

Les sols des aires urbaines françaises (i) ne sont pas forcément des sols fortement anthropisés et (ii) présentent un degré d'anthropisation fortement corrélé avec l'historique des usages qu'ils ont successivement accueilli. Si les sols fortement anthropisés sont localisés dans des périmètres qui ont subi de nombreuses et d'intenses modifications d'usages au cours du temps, les travaux de ce doctorat n'ont pas permis de mettre en évidence de gradient spatial d'anthropisation des sols au sein des aires urbaines. Il est cependant à noter que, de manière générale, et selon le modèle d'aménagement des aires urbaines françaises, les sols caractérisés par une occupation urbaine se situent majoritairement au sein du périmètre de l'unité urbaine, et ceux caractérisés par une occupation industrielle se situent davantage en périphérie urbaine. De nombreuses aires urbaines françaises se caractérisent par une anthropisation des sols dans les pôles urbains, dont l'intensité décroit avec l'éloignement au pôle urbain. Cependant, cet élément dépend de l'histoire de l'aménagement de l'aire urbaine. C'est en effet le cas pour MGN, où la ville centre s'est développée de manière concentrique en aménageant

au fur et à mesure les sols agricoles de sa périphérie. De manière différente, MAMP s'est développée selon de multiples pôles urbains. Il n'est donc pas rare de rencontrer des sols fortement modifiés par les activités humaines loin du pôle urbain de MAMP, constituant les sols des périphéries anthropisées des différents pôles urbains de cette aire urbaine.

Conclusion

Les aires urbaines étudiées sont constituées de sols faiblement à fortement anthropisés. Leurs caractéristiques bio-physico-chimiques les rapprochent, pour certains, des sols des milieux naturels environnants. Pour d'autres, l'historique des activités humaines a fortement influencé ces propriétés. Un fait marquant est alors que cette hétérogénéité ne permet pas d'appréhender la qualité agronomique des sols urbains en considérant uniquement leur usage actuel (*e.g.* anthropique, agricole, forestier). En effet, les résultats soulignent que la connaissance de la qualité des sols urbains est fortement dépendante de l'intensité, de la durée et de la fréquence des usages passés et donc des couvertures accueillies par les sols. La connaissance de ce système nécessite alors des investigations approfondies par des pédologues connaissant les milieux anthropisés. En l'absence d'information actuelle sur les sols des milieux urbains, des investigations approfondies sont nécessaires au cas par cas, en considérant l'intégralité du profil de sol, pour aboutir à une description réaliste de la couverture pédologique du site d'étude. S'adapter au contexte urbain nécessite également d'adapter les méthodes de caractérisation bio-physico-chimique de ces sols. Ces méthodes, indispensables pour arriver à appréhender le système sol urbain, peuvent se révéler complexes pour un acteur de projets urbains. A ce titre, des travaux de développement méthodologique pour évaluer la qualité et les potentialités des sols urbains sont nécessaires afin (i) d'apporter des éléments de connaissance supplémentaires sur les sols urbains, (ii) qui puissent être compréhensibles par les acteurs de l'urbanisme opérationnel.

Ces résultats conduisent alors à se poser deux questions relatives à ce travail de doctorat :

1) quelle méthodologie mettre en place pour déterminer les potentialités des sols en contexte urbain ? ;
2) comment la qualité d'un sol est corrélée à son degré d'anthropisation ?

Chapitre V – Détermination des potentialités des sols urbains par l'évaluation de leurs services écosystémiques

Ce chapitre s'attache à **évaluer les fonctions et services écosystémiques que les sols des milieux urbains sont aptes à fournir** (Figure 19). Pour ce faire, il apporte des réponses aux questions scientifiques suivantes :

(1) comment adapter la méthodologie d'évaluation des services écosystémiques aux milieux urbains ? ;

(2) un sol urbain est-il moins fonctionnel qu'un sol naturel ? ;

(3) les sols urbains sont-ils en mesure d'apporter des réponses aux enjeux environnementaux urbains ?

Les résultats présentés dans cette section sont issus des méthodes présentées dans la section II.2.4.

V.1. Résultats

V.1.1. La mise en œuvre de l'outil Destisol sur les différents cas d'études

Les interventions sur les sites de projets urbains ont permis d'alimenter l'outil d'aide à la décision Destisol, développé dans le cadre du programme de recherche Destisol (Gesipol, ADEME). Les propriétés bio-physico-chimiques évaluées sur le terrain et en laboratoire constituent les données d'entrée de cet outil, faisant référence aux « indicateurs » décrits dans la section ci-dessous. Ces indicateurs permettent d'attribuer une note aux différentes fonctions, couvertures puis services considérés par Destisol et décrits ci-après.

La valeur des indicateurs

La première étape de l'outil Destisol consiste en la transformation des valeurs des indicateurs en notes, allant de 0 à 3. Les résultats indiquent que les notes de la plupart des indicateurs considérés varient entre 0 et 3. C'est le cas par exemple du pH, du pourcentage d'éléments grossiers et du pourcentage d'artéfacts, de la teneur en $CaCO_3$, de la densité racinaire, de la couleur de l'horizon, de la profondeur du sol ou encore de la texture et de la structure. Seuls quelques indicateurs ne prennent pas l'intégralité des valeurs allant de 0 à 3. C'est le cas par exemple de l'indicateur « traces d'hydromorphie », qui présente des notes variant de 1 à 3, ou encore de l'indicateur « traces de pollution », qui prend exclusivement la valeur de 3.

L'évaluation des fonctions

Les notes obtenues pour les fonctions « support » sont présentées en annexe (Annexe 17).

Concernant le fonctionnement des sols étudiés, les résultats donnés par l'outil Destisol indiquent que de nombreuses notes obtenues sont comprises entre 2 et 3 pour les fonctions de recyclage de la matière organique, de protection contre l'érosion et de stockage de carbone (Tableau 18). De manière plus spécifique, il s'avère que la fonction relative à la protection contre l'érosion est celle dont les notes obtenues sont les plus élevées. Les sols de NM obtiennent des valeurs significativement plus faibles que les sols de MAMP et MGN pour la fonction « stockage de carbone ». La fonction « recyclage matière organique et nutriments » s'avère sensible car des différences sont également observées au sein d'une même aire urbaine. Par exemple, les sols du site d'Euromed sont les seuls sols de MAMP à obtenir la note 0 à cette fonction. Enfin, il est intéressant de remarquer que les sols des zones 3 et 4 de Biancamaria (MGN) présentent des notes plus faibles que les autres zones pour les fonctions considérées. De telles différences de notes sont également observables pour la fonction « protection contre l'érosion », où seuls les sols de la zone 2a du Plateau de Haye (MGN), des zones 2a et 2c de La Haie Cerlin (MGN) et des zones 2 et 3 du Plan d'Aou (MAMP) obtiennent la note de 3.

Tableau 18 : Notes attribuées par Destisol aux fonctions relatives au fonctionnement du sol pour l'ensemble des profils de sols étudiés (n=37) - Les notes peuvent prendre des valeurs comprises entre 0 et 0,9 (rouge) (fonction non remplie), 1 et 1,9 (orange), 2 et 2,9 (jaune) et 3 (vert) (fonction totalement remplie)

Sites	Recyclage matière organique et nutriments	Protection contre l'érosion	Stockage de Carbone
MGN-B – Z1a	2,5	2,2	2,1
MGN-B – Z1b	2,7	2,2	1,4
MGN-B – Z2	2,1	1,7	1,4
MGN-B – Z3	1,9	1,7	1,8
MGN-B – Z4	1,9	1,5	1,2
MGN-PH – Z1a	2,6	2,2	1,6
MGN-PH – Z2a	2,2	3,0	2,0
MGN-PH – Z2b	1,9	2,5	1,5
MGN-PH – Z1b	2,3	2,2	2,0
MGN-HC – Z1a	2,1	2,5	1,4
MGN-HC – Z1b	1,6	2,2	1,5
MGN-HC – Z2a	2,6	3,0	2,1
MGN-HC – Z2b	1,8	2,5	1,5
MGN-HC – Z2c	2,6	3,0	2,3
MGN-MJC – Z1	2,7	2,2	2,5
MGN-MJC – Z2	2,8	2,7	2,3
MGN-MJC – Z3	2,5	2,2	2,9
MGN-MJC – Z4	2,4	2,2	2,8
MAMP-E – Z1	0,0	1,5	1,2
MAMP-E – Z2a	0,0	2,2	1,1
MAMP-E – Z2b	0,0	1,2	1,4
MAMP-PA – Z1	1,6	2,5	1,5
MAMP-PA – Z2	2,4	3,0	1,2
MAMP-PA – Z3	2,5	3,0	2,3
MAMP-SM – Z1	2,8	2,2	1,4
MAMP-SM – Z2	2,7	2,0	2,2
MAMP-SM – Z3	2,7	2,0	2,1
NM-LJ – Z1	2,5	2,2	1,4
NM-LJ – Z2a	2,8	2,2	2,0
NM-LJ – Z2b	2,8	2,2	2,1
NM-LJ – Z3	2,8	2,2	1,9
NM-LB – Z1	2,8	2,0	1,9
NM-LB – Z3a	2,7	2,2	1,6
NM-LB – Z3b	2,6	2,0	1,9
NM-CM – Z1a	2,7	2,0	1,9
NM-CM – Z1b	2,9	2,2	1,8
NM-CM – Z1c	2,9	2,2	1,8

Concernant la fertilité physico-chimique des sols urbains, les résultats indiquent que, globalement, les sols échantillonnés présentent des notes faibles comprises entre 1 et 2 (Tableau 19). Les notes les plus faibles sont obtenues pour le couvert « végétation arborée » qui est le plus exigeant. Les notes obtenues pour les couverts « végétation herbacée » et « végétation potagère » sont très proches (quelques différences mineures imputables au niveau de contamination). La comparaison entre les trois aires urbaines souligne le fait que les sols de NM sont ceux qui présentent les notes les plus élevées pour la fonction « fertilité physico-chimique » quel que soit le couvert végétal considéré. Les sols du site de La MJC sont ceux qui présentent, parmi les sols de MGN, les plus fortes valeurs pour la fonction

« fertilité physico-chimique ». Enfin, il existe, pour cette fonction également, des différences marquées au sein d'un même site. C'est le cas notamment pour les sols de Biancamaria (MGN), dont ceux des zones Z1a et Z3 obtiennent des notes sensiblement plus élevées que les sols des autres zones échantillonnées.

Tableau 19 : Notes attribuées par Destisol aux fonctions relatives à la fertilité physico-chimiques pour l'ensemble des profils de sol étudiés (n=37) et pour différents types de couverts végétaux
Les notes peuvent prendre des valeurs comprises entre 0 et 0,9 (rouge) (fonction non remplie), 1 et 1,9 (orange), 2 et 2,9 (jaune) et 3 (vert) (fonction totalement remplie)

Sites	Végétation herbacée	Végétation potagère	Végétation arbustive	Végétation arborée
MGN-B – Z1a	2,3	2,3	2,5	1,9
MGN-B – Z1b	1,7	1,7	1,7	1,5
MGN-B – Z2	1,6	1,6	1,5	1,4
MGN-B – Z3	2,0	2,0	2,2	2,0
MGN-B – Z4	1,8	1,8	1,5	0,0
MGN-PH – Z1a	1,5	1,5	1,6	1,1
MGN-PH – Z2a	1,6	1,6	1,4	1,2
MGN-PH – Z2b	1,0	1,0	1,0	0,0
MGN-PH – Z1b	1,0	1,0	0,0	0,0
MGN-HC – Z1a	1,3	1,3	1,1	0,8
MGN-HC – Z1b	1,2	1,2	1,2	1,0
MGN-HC – Z2a	1,7	1,7	1,5	1,3
MGN-HC – Z2b	0,8	0,8	0,7	0,0
MGN-HC – Z2c	1,8	1,8	1,7	1,2
MGN-MJC – Z1	2,2	2,2	2,1	1,8
MGN-MJC – Z2	2,3	2,3	2,3	2,1
MGN-MJC – Z3	2,3	2,3	2,3	2,1
MGN-MJC – Z4	2,2	2,2	2,2	2,1
MAMP-E – Z1	1,5	1,5	1,4	1,3
MAMP-E – Z2a	0,7	0,7	0,6	0,9
MAMP-E – Z2b	1,2	1,2	1,2	0,9
MAMP-PA – Z1	1,1	1,1	1,0	0,8
MAMP-PA – Z2	1,3	1,3	1,2	1,2
MAMP-PA – Z3	1,2	1,2	1,2	0,9
MAMP-SM – Z1	2,0	2,0	1,5	1,1
MAMP-SM – Z2	2,0	2,0	2,2	1,7
MAMP-SM – Z3	1,8	1,8	1,5	1,2
NM-LJ – Z1	1,5	1,5	1,7	2,4
NM-LJ – Z2a	2,3	2,3	2,4	2,0
NM-LJ – Z2b	2,3	2,3	2,3	2,1
NM-LJ – Z3	2,3	2,3	2,3	2,2
NM-LB – Z1	1,9	1,9	1,9	1,7
NM-LB – Z3a	1,9	1,9	1,9	1,6
NM-LB – Z3b	2,1	2,1	2,3	1,7
NM-CM – Z1a	1,8	1,8	1,6	1,4
NM-CM – Z1b	1,7	1,7	1,5	1,3
NM-CM – Z1c	1,6	1,6	1,5	1,3

Les résultats recueillis par la mise en œuvre de l'outil Destisol pour les fonctions « circulation et infiltration de l'eau » et « rétention de l'eau » traduisent une faible variation des notes, comprises entre 1,6 et 2,3 (Tableau 20). Ces notes sont cependant relativement homogènes, aussi bien entre les aires urbaines qu'au sein des aires urbaines et des sites considérés.

Tableau 20 : Notes attribuées par Destisol aux fonctions relatives à la circulation et la rétention d'eau pour l'ensemble des profils de sols étudiés (n=37) - Les notes peuvent prendre des valeurs comprises entre 0 et 0,9 (rouge) (fonction non remplie), 1 et 1,9 (orange), 2 et 2,9 (jaune) et 3 (vert) (fonction totalement remplie)

Sites	Circulation et infiltration de l'eau	Rétention de l'eau
MGN-B – Z1a	2,0	2,1
MGN-B – Z1b	1,6	1,9
MGN-B – Z2	1,6	1,7
MGN-B – Z3	1,9	1,6
MGN-B – Z4	2,0	1,5
MGN-PH – Z1a	2,1	1,5
MGN-PH – Z2a	2,4	1,9
MGN-PH – Z2b	1,4	1,5
MGN-PH – Z1b	2,1	1,7
MGN-HC – Z1a	1,7	2,0
MGN-HC – Z1b	1,9	1,5
MGN-HC – Z2a	1,8	1,7
MGN-HC – Z2b	1,6	1,5
MGN-HC – Z2c	1,8	2,2
MGN-MJC – Z1	2,1	2,7
MGN-MJC – Z2	2,1	2,8
MGN-MJC – Z3	2,3	2,7
MGN-MJC – Z4	2,6	2,3
MAMP-E – Z1	2,0	1,6
MAMP-E – Z2a	1,4	1,1
MAMP-E – Z2b	1,8	1,4
MAMP-PA – Z1	2,1	1,4
MAMP-PA – Z2	1,8	1,4
MAMP-PA – Z3	2,2	1,8
MAMP-SM – Z1	1,8	1,9
MAMP-SM – Z2	2,0	2,5
MAMP-SM – Z3	2,0	2,2
NM-LJ – Z1	1,5	2,2
NM-LJ – Z2a	2,1	2,2
NM-LJ – Z2b	2,1	1,9
NM-LJ – Z3	1,9	1,9
NM-LB – Z1	2,0	1,9
NM-LB – Z3a	2,3	1,9
NM-LB – Z3b	2,2	2,0
NM-CM – Z1a	1,6	2,3
NM-CM – Z1b	1,8	1,6
NM-CM – Z1c	1,8	1,3

La note moyenne obtenue par les sols urbains pour la fonction « niveau de contamination par des polluants » est 2,6 ; celle obtenue pour les deux fonctions « rétention physique des polluants » et « dégradation des polluants » est 1,9 (Tableau 21). Les notes sont sensiblement plus élevées pour la fonction « niveau de contamination par des polluants » qui traduit l'état de contamination, que pour les fonctions « rétention physique des polluants » et « dégradation des polluants » qui traduisent la capacité des sols à limiter la dissémination des polluants, voire à les dégrader/transformer. Les sols de NM sont ceux qui s'avèrent les moins contaminés comme le révèlent leurs notes les plus élevées (moyenne NM = 2,8 ; moyenne MGN = 2,6 ; moyenne MAMP = 2,5). A l'inverse, la capacité de rétention de ces sols de NM serait plus faible (moyenne NM = 1,5) que pour les sols des deux autres aires urbaines

(moyenne MGN = 2,1 ; moyenne MAMP = 2,1). Il existe également des différences de notes en comparant les sols au sein d'une même aire urbaine. Par exemple, concernant MAMP, les sols de Sainte-Marthe obtiennent des valeurs élevées pour la fonction « niveau de contamination par les polluants » (moyenne = 3,0) alors que les notes obtenues par les sols d'Euromed sont faibles (moyenne = 1,6). C'est également le cas pour MGN, où les sols de Biancamaria sont ceux qui présentent les notes de la fonction « rétention physique des polluants » les plus faibles (moyenne = 1,8).

Tableau 21 : Notes attribuées par Destisol aux fonctions relatives au niveau de contamination, à la rétention physique et à la dégradation des polluants pour l'ensemble des profils de sols étudiés (n=37) - Les notes peuvent prendre des valeurs comprises entre 0 et 0,9 (rouge) (fonction non remplie), 1 et 1,9 (orange), 2 et 2,9 (jaune) et 3 (vert) (fonction totalement remplie)

Sites	Niveau de contamination par des polluants	Rétention physique des polluants	Dégradation des polluants
MGN-B – Z1a	2,2	1,9	2,0
MGN-B – Z1b	2,7	1,9	2,0
MGN-B – Z2	2,9	1,9	1,7
MGN-B – Z3	2,3	1,7	1,0
MGN-B – Z4	3,0	1,7	1,7
MGN-PH – Z1a	2,7	1,6	2,0
MGN-PH – Z2a	3,0	2,1	2,0
MGN-PH – Z2b	3,0	2,2	1,7
MGN-PH – Z1b	3,0	1,5	2,0
MGN-HC – Z1a	2,7	2,4	1,7
MGN-HC – Z1b	2,3	2,2	1,7
MGN-HC – Z2a	2,7	2,0	2,0
MGN-HC – Z2b	2,3	2,2	1,7
MGN-HC – Z2c	2,3	2,5	2,0
MGN-MJC – Z1	2,7	2,3	2,0
MGN-MJC – Z2	2,7	2,7	2,0
MGN-MJC – Z3	2,1	2,5	2,0
MGN-MJC – Z4	2,0	2,3	2,0
MAMP-E – Z1	1,9	1,9	2,0
MAMP-E – Z2a	1,4	1,7	2,7
MAMP-E – Z2b	1,5	1,9	1,3
MAMP-PA – Z1	2,8	1,9	2,0
MAMP-PA – Z2	3,0	1,9	2,0
MAMP-PA – Z3	2,6	2,2	2,0
MAMP-SM – Z1	3,0	2,2	2,0
MAMP-SM – Z2	3,0	2,5	1,7
MAMP-SM – Z3	3,0	2,3	1,7
NM-LJ – Z1	3,0	1,7	1,7
NM-LJ – Z2a	3,0	1,7	2,3
NM-LJ – Z2b	3,0	1,5	2,3
NM-LJ – Z3	2,9	1,4	2,3
NM-LB – Z1	3,0	1,5	2,0
NM-LB – Z3a	3,0	1,5	2,3
NM-LB – Z3b	3,0	1,7	1,3
NM-CM – Z1a	3,0	1,7	2,0
NM-CM – Z1b	1,7	1,1	2,0
NM-CM – Z1c	2,0	0,9	2,0

La détermination des couvertures de sol compatibles avec l'état des sols urbains

L'exploitation des résultats de l'outil Destisol indiquent qu'en l'état, les sols urbains échantillonnés sont moyennement aptes à recevoir des couvertures de sol scellées (Tableau 22). En effet, les pourcentages pour les couvertures « bâti - sans végétation » et « voies de circulation - sans végétation » varient entre 0% et 86%. Pour la première couverture, la moyenne est de 60%. Pour la couverture « voies de circulation - sans végétation », les notes obtenues sont sensiblement plus élevées, proches de 75%. Les résultats mettent en avant des différences marquées entre les aires urbaines et au sein de chacune. Enfin, quelques différences de taux de compatibilités sont observables pour une même couverture entre les sols d'un même site de projet, mais généralement, ces différences sont faibles.

Tableau 22 : Pourcentage de compatibilité évaluée par Destisol, entre l'état des sols urbains (n=37) et des couvertures scellées - Les pourcentages peuvent être compris entre 0% et 25% (rouge) (compatibilité nulle), 26% et 50% (orange), 51% et 75% (jaune), 76% et 90% (vert clair) et 91% et 100% (vert) (compatibilité totale)

Sites	Bâti sans végétation	Voies de circulation – sans végétation
MGN-B – Z1a	69	71
MGN-B – Z1b	65	76
MGN-B – Z2	78	75
MGN-B – Z3	59	58
MGN-B – Z4	79	81
MGN-PH – Z1a	67	72
MGN-PH – Z2a	0	65
MGN-PH – Z2b	0	81
MGN-PH – Z1b	58	67
MGN-HC – Z1a	0	81
MGN-HC – Z1b	0	76
MGN-HC – Z2a	0	75
MGN-HC – Z2b	0	86
MGN-HC – Z2c	0	74
MGN-MJC – Z1	57	75
MGN-MJC – Z2	70	84
MGN-MJC – Z3	67	80
MGN-MJC – Z4	55	63
MAMP-E – Z1	54	57
MAMP-E – Z2a	0	64
MAMP-E – Z2b	77	73
MAMP-PA – Z1	0	69
MAMP-PA – Z2	0	52
MAMP-PA – Z3	0	65
MAMP-SM – Z1	0	78
MAMP-SM – Z2	57	75
MAMP-SM – Z3	70	78
NM-LJ – Z1	0	84
NM-LJ – Z2a	69	80
NM-LJ – Z2b	65	77
NM-LJ – Z3	71	86
NM-LB – Z1	57	70
NM-LB – Z3a	57	69
NM-LB – Z3b	59	70
NM-CM – Z1a	75	84
NM-CM – Z1b	75	83
NM-CM – Z1c	73	86

Les résultats de Destisol indiquent que les sols échantillonnés présentent des valeurs de compatibilités avec les couvertures de sol semi-scellées comprises entre 65% et 100% (Tableau 23). Pour la couverture « voie de circulation - sans végétation » ces valeurs sont très élevées, relativement proches de 100% pour l'ensemble des sols urbains étudiés. Pour la couverture « voies de circulation - pelouse et prairie urbaines », seuls les sols d'Euromed (MAMP) présentent des valeurs sensiblement plus faibles que celles évaluées pour les autres sols.

Tableau 23 : Pourcentage de compatibilité évaluée par Destisol, entre l'état des sols urbains (n=37) et des couvertures semi-scellées - Les pourcentages peuvent être compris entre 0% et 25% (rouge) (compatibilité nulle), 26% et 50% (orange), 51% et 75% (jaune), 76% et 90% (vert clair) et 91% et 100% (vert) (compatibilité totale)

Sites	Voies de circulation – sans végétation	Voies de circulation – pelouse et prairie urbaines
MGN-B – Z1a	**99**	**100**
MGN-B – Z1b	**94**	**95**
MGN-B – Z2	**93**	**92**
MGN-B – Z3	**95**	**94**
MGN-B – Z4	**100**	**95**
MGN-PH – Z1a	**100**	**93**
MGN-PH – Z2a	**88**	**96**
MGN-PH – Z2b	**90**	**84**
MGN-PH – Z1b	**100**	**91**
MGN-HC – Z1a	**96**	**93**
MGN-HC – Z1b	**98**	**87**
MGN-HC – Z2a	**96**	**94**
MGN-HC – Z2b	**93**	**84**
MGN-HC – Z2c	**97**	**99**
MGN-MJC – Z1	**100**	**100**
MGN-MJC – Z2	**100**	**100**
MGN-MJC – Z3	**100**	**100**
MGN-MJC – Z4	**98**	**99**
MAMP-E – Z1	**95**	**77**
MAMP-E – Z2a	**89**	**65**
MAMP-E – Z2b	**96**	**74**
MAMP-PA – Z1	**100**	**87**
MAMP-PA – Z2	**90**	**86**
MAMP-PA – Z3	**99**	**93**
MAMP-SM – Z1	**97**	**98**
MAMP-SM – Z2	**100**	**100**
MAMP-SM – Z3	**100**	**99**
NM-LJ – Z1	**91**	**94**
NM-LJ – Z2a	**100**	**100**
NM-LJ – Z2b	**100**	**99**
NM-LJ – Z3	**99**	**98**
NM-LB – Z1	**100**	**99**
NM-LB – Z3a	**100**	**98**
NM-LB – Z3b	**100**	**100**
NM-CM – Z1a	**93**	**96**
NM-CM – Z1b	**96**	**93**
NM-CM – Z1c	**96**	**91**

Enfin, l'utilisation de l'outil Destisol révèle que les sols étudiés présenteraient des taux de compatibilité compris en moyenne entre 63% et 100% pour les couvertures de sol

non scellées de types « non bâti - sans végétation », « non bâti - pelouse et prairie urbaines », « non bâti - jardins potager et ornemental », « non bâti - arbustes » et « non bâti - arbres » (Tableau 24). Il est à noter que les pourcentages de compatibilité pour la couverture de type « non bâti – sans végétation » sont tous égaux à 100%, quel que soit le sol considéré, étant donné que cette couverture est considérée comme non contraignante au fonctionnement des sols. La comparaison entre aires urbaines révèle que ce sont les sols de NM qui présentent les plus forts taux de compatibilité pour l'ensemble des couvertures considérées (moyenne NM = 97,3 ; moyenne MGN = 93,8 ; moyenne MAMP = 86,1). Ensuite, par comparaison entre sites d'une même aire urbaine, il semble intéressant de souligner le fait que les sols de La MJC sont ceux qui obtiennent les taux de compatibilité les plus hauts, par rapport aux autres sols de MGN, et ce pour les cinq couvertures. A l'inverse, les sols d'Euromed (MAMP) sont ceux qui présentent les pourcentages de compatibilité les plus faibles pour les fonctions « non bâti - pelouse et prairie urbaines », « non bâti - jardins potager et ornemental », « non bâti - arbustes » et « non bâti - arbres ».

Tableau 24 : Pourcentage de compatibilité évalué par Destisol, entre l'état des sols urbains (n=37) et des couvertures non scellées - Les pourcentages peuvent être compris entre 0% et 25% (rouge) (compatibilité nulle), 26% et 50% (orange), 51% et 75% (jaune), 76% et 90% (vert clair) et 91% et 100% (vert) (compatibilité totale)

Sites	Non bâti – sans végétation	Non bâti – pelouse et prairie urbaines	Non bâti – jardins potager et ornemental	Non bâti - arbustes	Non bâti - arbres
MGN-B – Z1a	100	100	96	100	99
MGN-B – Z1b	100	98	96	97	95
MGN-B – Z2	100	97	96	94	93
MGN-B – Z3	100	99	99	95	95
MGN-B – Z4	100	98	98	95	78
MGN-PH – Z1a	100	96	94	92	88
MGN-PH – Z2a	100	97	97	94	93
MGN-PH – Z2b	100	91	91	87	78
MGN-PH – Z1b	100	92	92	81	81
MGN-HC – Z1a	100	94	93	93	90
MGN-HC – Z1b	100	90	86	86	84
MGN-HC – Z2a	100	98	96	93	92
MGN-HC – Z2b	100	89	85	84	77
MGN-HC – Z2c	100	99	95	97	93
MGN-MJC – Z1	100	100	98	100	99
MGN-MJC – Z2	100	100	98	100	100
MGN-MJC – Z3	100	100	95	100	100
MGN-MJC – Z4	100	100	94	100	100
MAMP-E – Z1	100	79	73	76	74
MAMP-E – Z2a	100	72	63	65	68
MAMP-E – Z2b	100	76	68	72	69
MAMP-PA – Z1	100	89	88	83	82
MAMP-PA – Z2	100	94	94	89	88
MAMP-PA – Z3	100	94	92	92	89
MAMP-SM – Z1	100	100	100	94	92
MAMP-SM – Z2	100	100	100	100	97
MAMP-SM – Z3	100	99	99	96	94
NM-LJ – Z1	100	96	96	97	95
NM-LJ – Z2a	100	100	100	100	100
NM-LJ – Z2b	100	100	100	99	99
NM-LJ – Z3	100	100	99	99	99
NM-LB – Z1	100	99	99	99	97
NM-LB – Z3a	100	99	99	100	97
NM-LB – Z3b	100	100	100	100	98
NM-CM – Z1a	100	99	99	99	95
NM-CM – Z1b	100	97	90	92	90
NM-CM – Z1c	100	97	92	90	89

L'évaluation des services écosystémiques

L'évaluation des services écosystémiques potentiellement rendus par les sols effectuée grâce à l'outil Destisol permet de comparer les niveaux de services rendus par les sols de différentes zones de sites de projets urbains en fonction de différents scénarii de couvertures.

❖ *L'influence du type de sol pour une même couverture*

Il est possible de considérer tout d'abord les services rendus pour une même couverture (« jardins potager et ornemental ») par différentes zones des sites étudiés (Figure 94). Il apparaît en premier lieu que certains services ne sont pas du tout rendus par cette couverture (*i.e.* supports de bâtiments et de voirie, production de biomasse – énergie, d'arbre

ou d'arbustes). Certains services obtiennent des notes identiques, quelle que soit la zone considérée ; c'est le cas des services de régulation des inondations et de protection contre l'érosion (moyenne des notes inondation = 2,8 ; moyenne des notes érosion = 2,5). Ensuite, malgré la couverture identique, les niveaux de services potentiellement rendus sont différents d'une zone à l'autre. Globalement, les meilleures notes sont obtenues pour la zone 3 de La MJC (MGN) et la zone 1 de La Boissière (NM), avec des valeurs relativement similaires même si certaines différences sont observées. Les services de régulation (qualité de l'air, climat global et climat local) obtiennent des meilleures notes pour le site de MGN, alors que les services de purification de l'eau et d'habitat pour la biodiversité sont mieux notés pour le site de NM. A l'inverse, les sols de la zone 2a d'Euromed (MAMP) sont ceux qui présentent les plus faibles notes : régulation du climat local (0,8), de la qualité de l'air (0,7) et habitat pour la biodiversité (0,5).

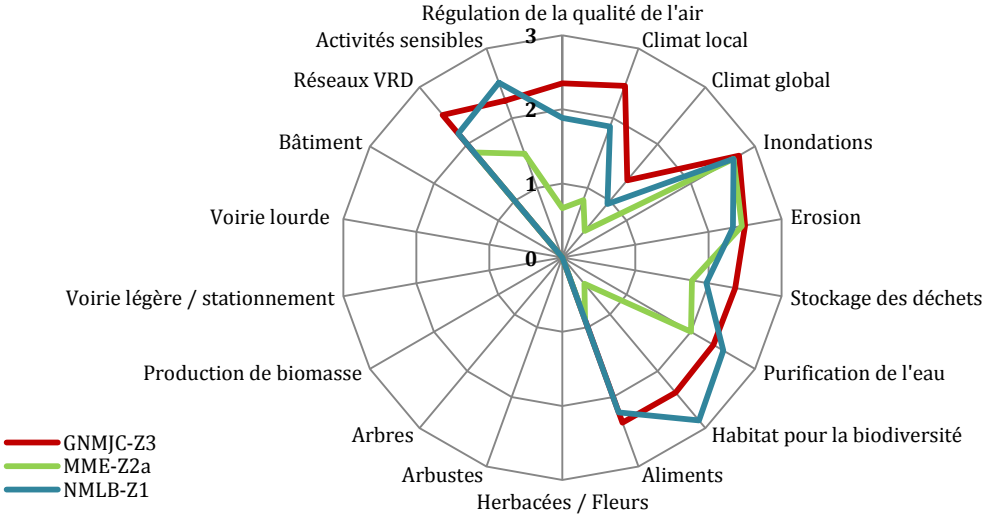


Figure 94 : Services écosystémiques évalués Destisol pour les sols de 3 zones de sites de projets pour la couverture « jardins potager et ornemental » - Les notes peuvent aller de 0 (le service n'est pas rendu par le sol) à 3 (le service est totalement rendu par le sol)

Dans le cas d'une couverture de sol scellée type « voirie sans végétation », les profils obtenus diffèrent de l'exemple précédent (Figure 95). Ainsi, les notes des services de régulation (hormis la protection contre l'érosion et dans une très moindre mesure le climat global) et de services de production (hormis le support de voirie et l'accueil de réseaux ou d'activités sensibles) sont nulles. Par ailleurs, les notes obtenues varient faiblement d'une zone à l'autre.

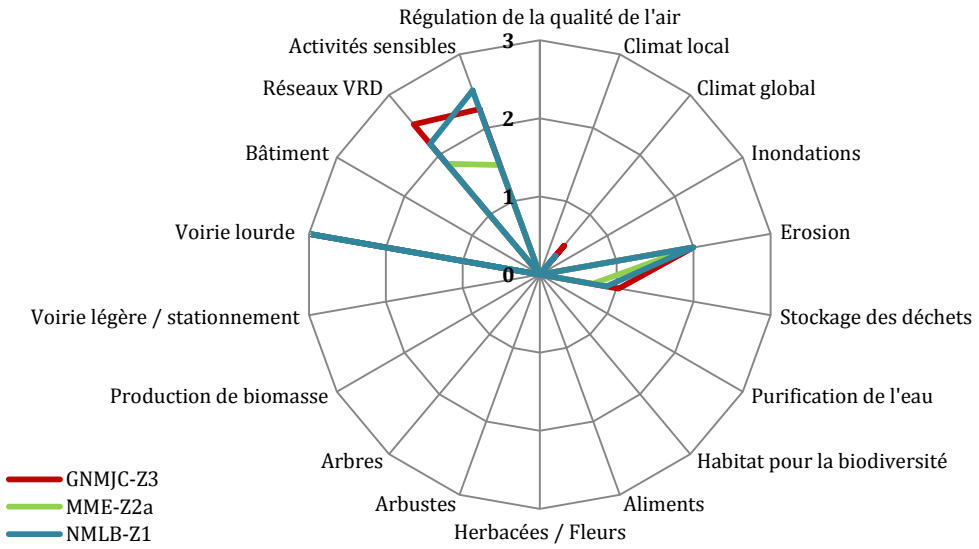


Figure 95 : Services écosystémiques évalués par Destisol pour les sols de 3 zones de sites de projets pour la couverture « voies de circulation sans végétation » - Les notes peuvent aller de 0 (le service n'est pas rendu par le sol) à 3 (le service est totalement rendu par le sol)

❖ *L'influence de la couverture pour un même sol*

L'évaluation conduite permet également de comparer les niveaux de services rendus par une même zone de sols, en considérant différents scénarii d'aménagement, c'est-à-dire, différentes couvertures de sol. Pour cet exemple, sont considérés les sols de la zone 1 de l'écoquartier Biancamaria (MGN) et trois couvertures avec un taux de végétation croissant : « voies de circulation sans végétation », « voies de circulation pelouse et prairie urbaines » et « pelouse et prairie urbaines » (Figure 96). A ce titre, les résultats indiquent que le service d'accueil d'activités sensibles est le seul qui ne dépende pas de la couverture de sol. A l'inverse, pour tous les autres services, le type de couverture influence fortement les notes obtenues. En particulier, la couverture « voie de circulation sans végétation » conduit à des notes nulles pour les services de régulation de la qualité de l'air, limitation du risque inondation, filtration de l'eau et habitat pour la biodiversité. De manière différente, les couvertures impliquant la mise en place de voies de circulation voient les services qui leur sont liés (voiries) maximisés. Logiquement la densité de végétation influence positivement presque tous les services de régulation. L'ensemble de ces résultats suivent les mêmes tendances pour les sols des zones 2 du Plan d'Aou (MAMP) (Figure 97) et 1 de La Jaguère (NM) (Figure 98) même si, comme indiqué précédemment, des variations de notes sont observées d'une zone à l'autre.

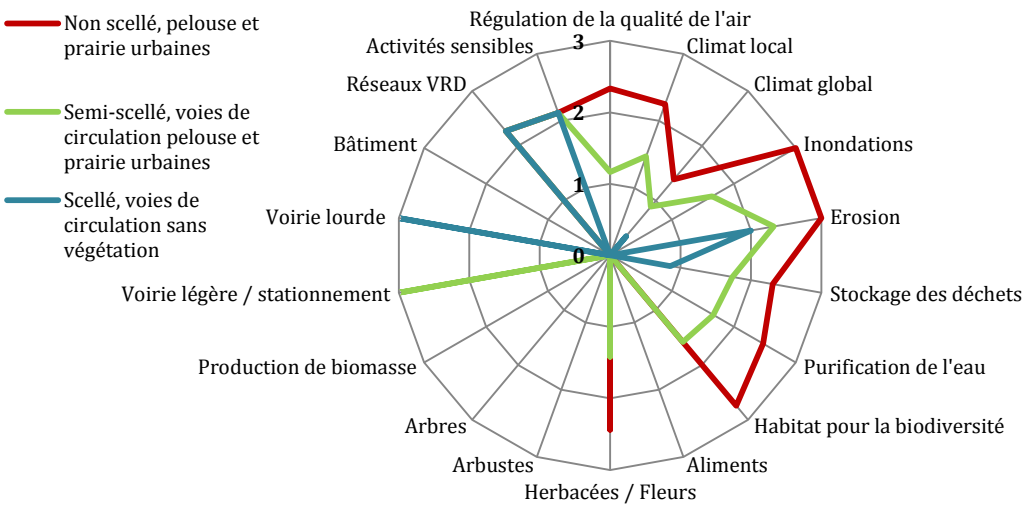


Figure 96 : Services écosystémiques évalués par Destisol pour le sol de la zone 1 de Biancamaria (MGN) et 3 types de couvertures de sol

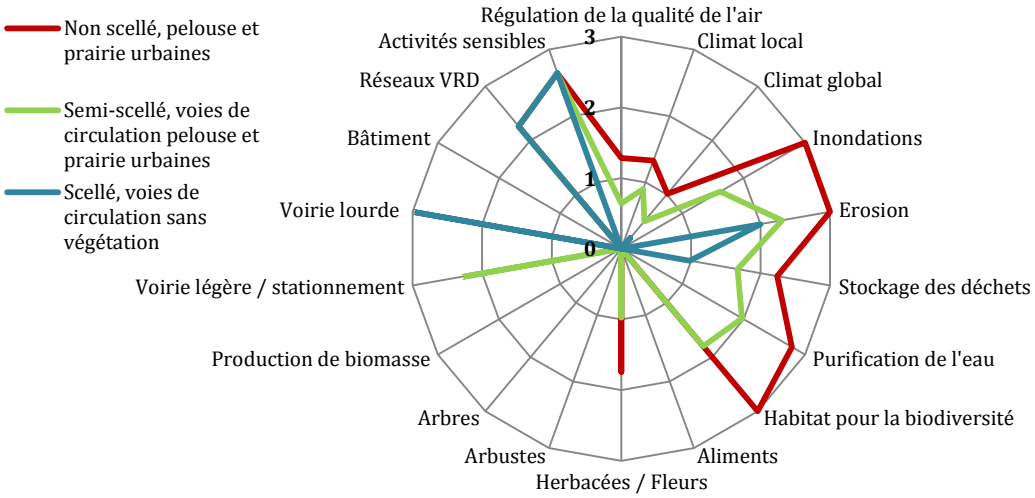


Figure 97 : Services écosystémiques évalués par Destisol pour le sol de la zone 2 du Plan d'Aou (MAMP) et 3 types de couvertures de sol

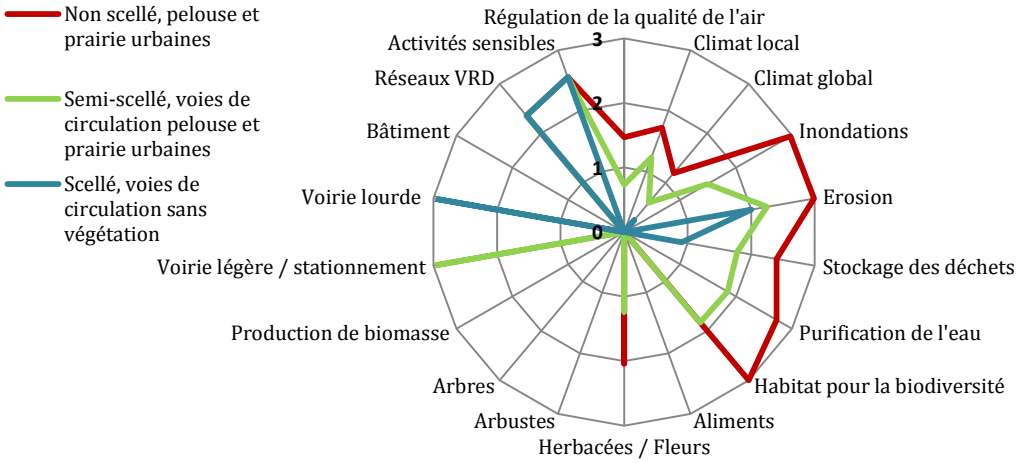


Figure 98 : Services écosystémiques évalués par Destisol pour le sol de la zone 1 de La Jaguère (NM) et 3 types de couvertures de sol

V.1.2. L'influence des propriétés des sols sur les niveaux de fonctions, couvertures et services écosystémiques rendus

Les différences des niveaux de fonctions assurés par les sols urbains suivant leur appartenance à une classe de sol

Les moyennes de notes obtenues aux fonctions considérées selon les types de sols (Tableau 25) indiquent que les Anthrosols présentent des notes plus élevées que les autres classes de sol, notamment pour la fonction « recyclage de la matière organique et nutriments » (moyenne de 2,7 et écart-type de 0,2). Les Cambisols présentent des notes relativement plus faibles que les Anthrosols pour l'ensemble des fonctions considérées. Les résultats indiquent que les Planosols étudiés ne sont pas contaminés, comme en atteste leurs notes pour la fonction « contamination par les polluants » (moyenne de 3 et écart-type de 0). Ils présentent également des notes élevées pour les fonctions relatives au « recyclage de la matière organique et nutriments » (moyenne de 2,7 et écart-type de 0,1), à la « protection contre l'érosion » (moyenne de 2,1 et écart-type de 0,1) et à l' « infiltration de l'eau » (moyenne de 2,0 et écart-type de 0,4). Néanmoins, ces sols présentent des notes plus faibles pour les fonctions de stockage de carbone (moyenne de 1,7 et écart-type de 0,2) et de support de bâtiments (moyenne de 1,3 et écart-type de 0,9). Concernant les Stagnosols, les résultats indiquent qu'ils sont aptes à assurer en priorité des fonctions relatives à la protection contre l'érosion (moyenne de 2,7 et écart-type de 0,3) et au niveau de contamination par les polluants (moyenne de 2,5 et écart-type de 0,2). A l'inverse, ce sont des sols qui présentent des notes relativement faibles pour les fonctions liées au développement d'herbacées (moyenne de 1,4 et écart-type de 0,4) et d'arbres (moyenne de 0,9 et écart-type de 0,5) ainsi qu'au support de bâtiments (moyenne de 0). Enfin, les résultats indiquent que les Technosols présentent, en moyenne, des notes plus faibles que les autres classes de sols, pour la plupart des fonctions considérées. Par exemple, ces sols présentent une moyenne à la fonction « recyclage de la matière organique » équivalente à 1,8. Celle de la fonction « fertilité herbacées » est de 1,5 et celle de la fonction « infiltration de l'eau » est de 1,9. Cependant, il est intéressant de remarquer que ce sont les Technosols qui présentent les valeurs d'écart-types les plus élevées. L'écart-type de la fonction « recyclage de la matière organique » atteint par exemple 1,0 pour les Technosols, quand il est de 0,1 pour les Cambisols.

Tableau 25 : Moyenne des notes évaluées par Destisol pour l'ensemble des fonctions et selon les groupes de sols (n=37)

		Recyclage MO & nutriments	Protection érosion	Stockage carbone	Fertilité herbacées & jardins	Fertilité arbres	Infiltration eau	Polluants	Voirie légère	Bâtiment
Anthrosols	Moyenne	**2,7**	**2,4**	**2,5**	**2,3**	**2,0**	**2,2**	**2,5**	**1,5**	**1,9**
	Ecart type	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2
Cambisols	Moyenne	**2,8**	**2,2**	**1,9**	**2,0**	**1,6**	**1,9**	**2,7**	**1,5**	**1,8**
	Ecart type	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,5	0,1	0,7
Planosols	Moyenne	**2,6**	**2,1**	**1,7**	**1,8**	**1,6**	**2,0**	**3,0**	**1,5**	**1,3**
	Ecart type	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,0	0,1	0,9
Stagnosols	Moyenne	**2,1**	**2,6**	**1,7**	**1,4**	**0,8**	**1,8**	**2,5**	**1,9**	**0,0**
	Ecart type	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,0
Technosols	Moyenne	**1,8**	**2,2**	**1,6**	**1,5**	**1,1**	**1,9**	**2,5**	**1,8**	**1,2**
	Ecart type	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	0,3	0,6	0,3	1,0

Les résultats obtenus pour l'évaluation des fonctions par l'outil Destisol (Figure 99) permettent de mettre en exergue que ce sont les sols appartenant au groupe « Anthrosol » qui présentent, en moyenne, la note de multifonctionnalité la plus élevée, équivalente à 2,3 (écart-type de 0,1). Ensuite, les Cambisols (moyenne de 2,1, écart-type de 0,2) et les Planosols (moyenne de 1,9, écart-type de 0,1) présentent une moyenne intermédiaire. Les sols appartenant au groupe « Technosol » ont une moyenne de multifonctionnalité égale à 1,8. Il est intéressant de relever que ce sont ces sols qui présentent la plus grande hétérogénéité dans leurs valeurs (écart-type de 0,2). Enfin, parmi les sols échantillonnés, ce sont les Stagnosols qui ont la plus faible moyenne de multifonctionnalité (moyenne de 1,8, écart-type de 0,2).

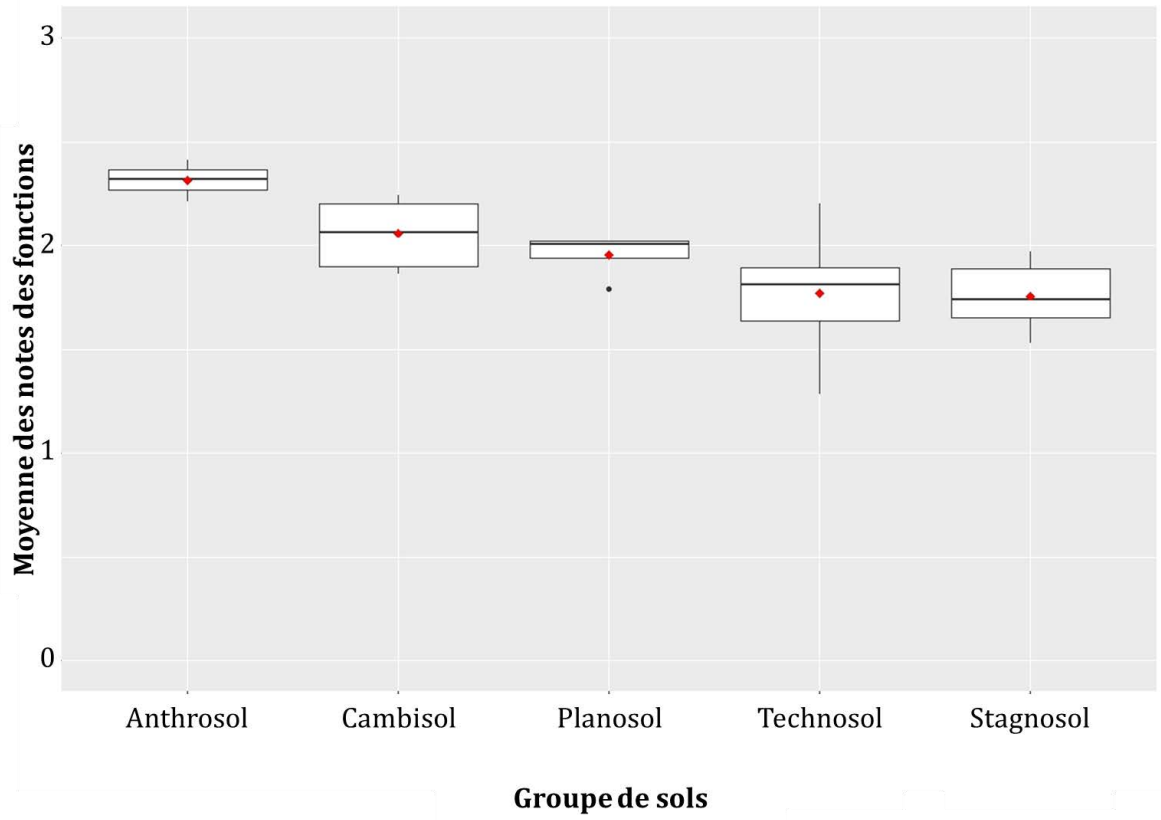


Figure 99 : Moyenne des notes des fonctions évaluées par Destisol, selon les groupes de sols (n=37)

Concernant les fonctions « fertilité herbacées » et « fertilité jardins » (Figure 100), les résultats indiquent que ce sont les Anthrosols qui ont, en moyenne, la note la plus élevée (2,3, écart-type de 0,1). Les Cambisols et les Planosols présentent une note moyenne des fonctions « fertilité herbacées » et « fertilité jardins » respectivement égale à 2,0 (écart-type de 0,3) et 1,8 (écart-type de 0,3). Les sols appartenant au groupe « Technosol » ont une moyenne de 1,5. Ce sont ces sols qui présentent la plus grande hétérogénéité dans les valeurs des fonctions, considérant que leur écart-type est égal à 0,5. Enfin, ce sont les Stagnosols qui ont la plus faible note moyenne pour les fonctions « fertilité herbacées » et « fertilité jardins » (1,4, écart-type de 0,4).

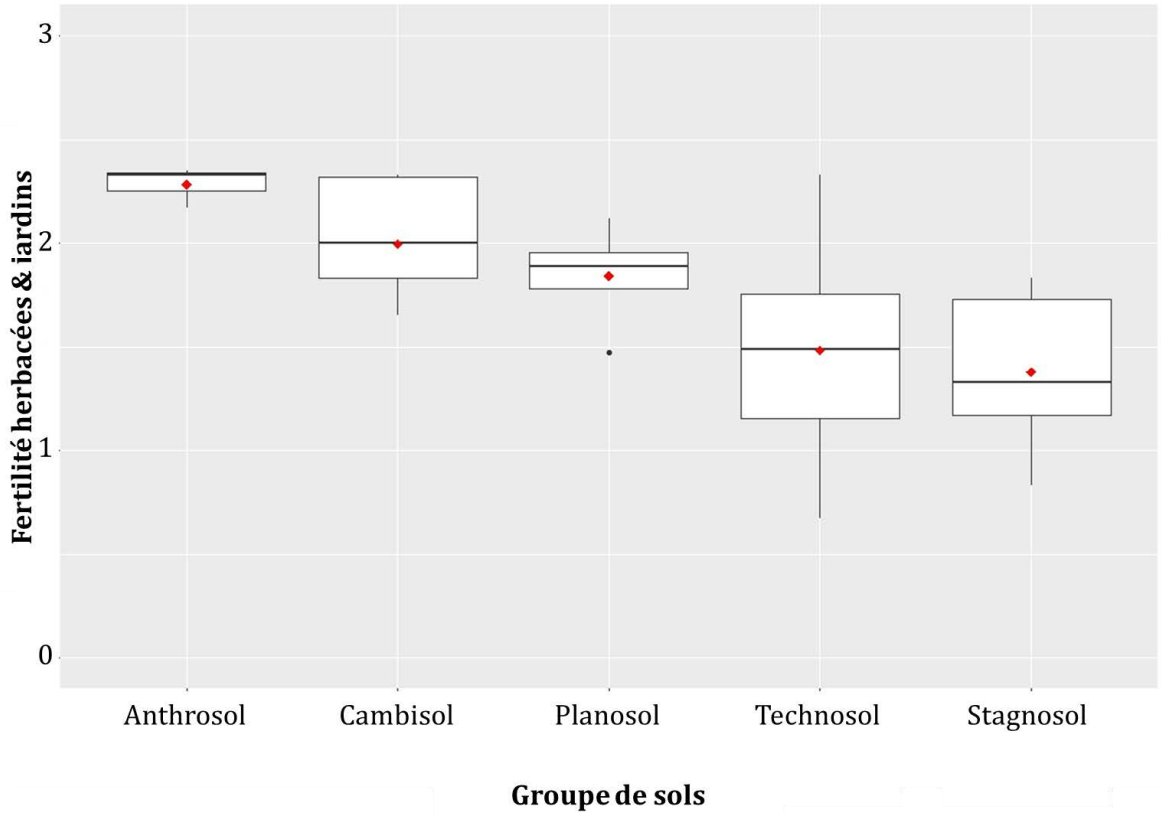


Figure 100 : Notes évaluées par Destisol pour les fonctions « fertilité herbacées » et « fertilité jardins », selon le groupe de sols (n=37)

Concernant la fonction « stockage de carbone » (Figure 101), l'ordre des groupes de sols selon la note moyenne obtenue pour cette fonction est le même. Ce sont les Anthrosols qui obtiennent la note moyenne la plus élevée, de 2,6 (écart-type de 0,3). Les Cambisols et les Planosols ont des notes moyennes respectives de 1,9 et 1,7 (écart-types de 0,2 et 0,3). Les Stagnosols obtiennent une note moyenne de 1,8 (écart-type de 0,4). Enfin, les Technosols sont les sols qui présentent la moyenne la plus faible mais l'écart-type le plus grand (moyenne de 1,7 et écart-type de 0,5).

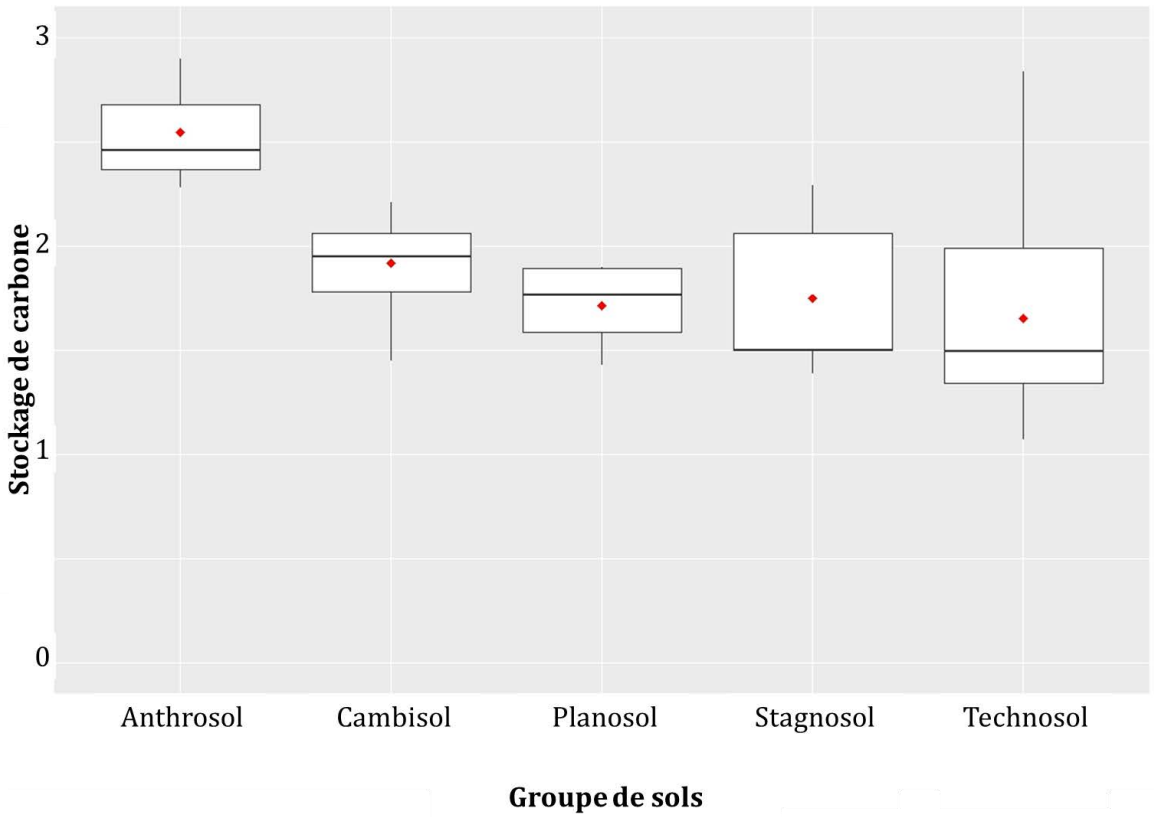


Figure 101 : Notes évaluées par Destisol pour la fonction « stockage de carbone », selon le groupe de sols (n=37)

Concernant la fonction « niveau de contamination par les polluants » (Figure 102), les Planosols obtiennent en moyenne la note de 3 (écart-type de 0). Ensuite, les propriétés physiques et chimiques des Cambisols induisent une note moyenne à cette fonction égale à 2,7 (écart-type de 0,5). Les sols appartenant au groupe « Technosols » obtiennent une note moyenne de 2,5 et l'écart-type le plus important, égal à 0,6. Enfin, les Anthrosols et les Stagnosols sont les sols qui présentent les plus faibles moyennes pour la fonction « niveau de contamination par les polluants », respectivement égales à 2,5 (écart-type de 0,3) et 2,5 (écart-type de 0,2). Il s'avère que les Stagnosols n'obtiennent pas la note de 3 à cette fonction, car dans sa version actuelle, l'outil Destisol ne considère pas le fond pédogéochimique réel du site d'étude, mais la valeur donnée par le programme ASPITET de l'Inra. Aussi, il est sans doute possible que les sols du site de La Haie Cerlin (MGN) (note de 2,4), les seuls à être des Stagnosols, présentent une légère anomalie par rapport à cette valeur.

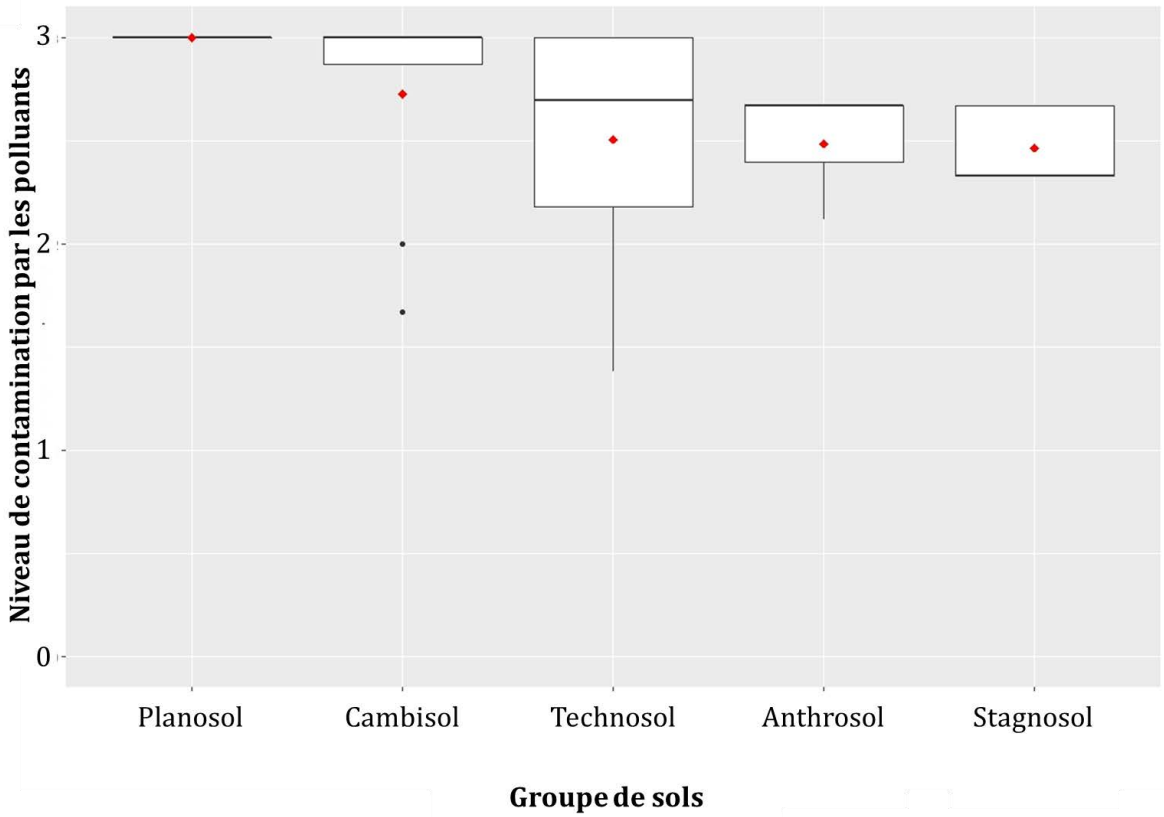


Figure 102 : Notes évaluées par Destisol pour la fonction « niveau de contamination par les polluants », selon le groupe de sols (n=37)

Enfin, les résultats de l'évaluation des fonctions par l'outil Destisol permettent de mettre en exergue le fait qu'un apport en terre végétale sur un Technosol n'induit pas forcément une note plus élevée pour les fonctions « fertilité herbacées » et « fertilité jardins » (R^2 = 0,04) (Figure 103).

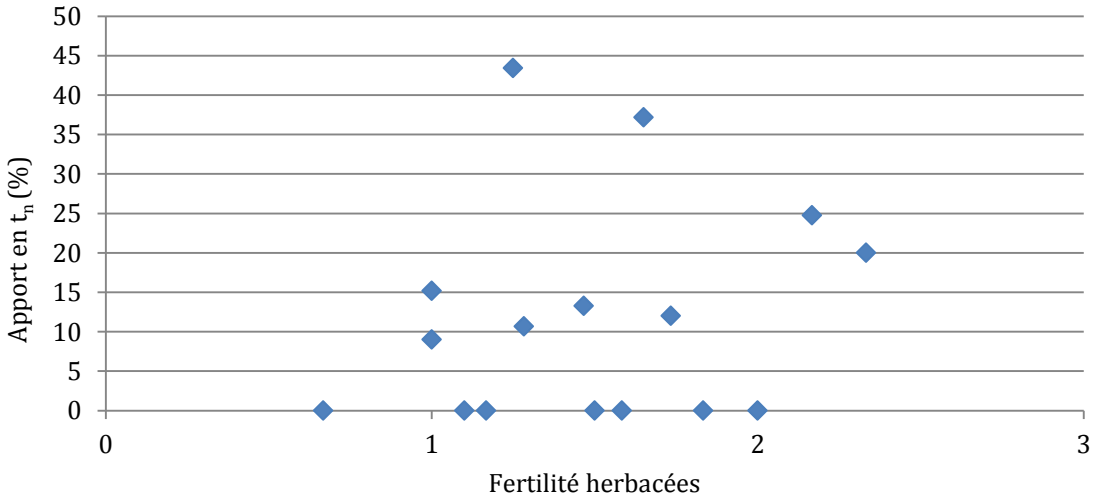


Figure 103 : Apport en terre végétale selon les notes obtenues par Destisol pour les fonctions « fertilité herbacées » et « fertilité jardins » - Dans le cas des Technosols (n=16)

Les différences des potentiels d'accueil des couvertures selon les groupes de sols

Les moyennes des pourcentages de compatibilité de l'état des sols avec l'accueil de différentes couvertures indiquent que, globalement, les Anthrosols peuvent accueillir, en l'état et sans aucune modification anthropique, des couvertures de sol non scellées de types « pelouse et prairies urbaines », « arbustes » et « arbres » (moyenne de 100% et écart-type de 0) (Tableau 26). Les Planosols présentent également des valeurs de compatibilité élevées pour les couvertures « pelouse et prairies urbaines » (moyenne de 98% et écart-type de 1,97), « jardins potager et ornemental » (moyenne de 98 et écart-type de 1,97) et « arbustes » (moyenne de 99% et écart-type de 1,09). Les Cambisols présentent les mêmes valeurs, tout en se différenciant des Planosols par un taux de compatibilité pour la couverture arborée sensiblement plus faible (moyenne de 95% et écart-type de 4,11). Les Stagnosols présentent une compatibilité plus élevée pour la couverture « pelouse et prairie urbaines » (moyenne de 94% et écart-type de 4,55) et sensiblement plus faible pour les trois autres couvertures considérées, que sont « jardins potager et ornemental » (moyenne de 91% et écart-type de 5,10), « arbustes » (moyenne de 90% et écart-type de 5,70) et « arbres » (moyenne de 87% et écart-type de 6,40). Enfin, les Technosols sont ceux qui présentent les plus faibles taux de compatibilités pour les couvertures considérées. Les résultats indiquent qu'ils obtiennent une compatibilité élevée de 92% en moyenne avec la couverture « pelouse et prairie urbaines » mais que les taux de compatibilités pour les trois autres couvertures sont inférieurs à 90%. Il est cependant intéressant de noter que ce sont les sols de ce groupe qui présentent les pourcentages de compatibilité les plus hétérogènes, au regard des écarts-types élevés. Par exemple, l'écart-type pour la couverture « jardin potager et ornemental » est de 10,90 pour les Technosols et de 1,76 pour les Anthrosols.

Tableau 26 : Moyenne des pourcentages de compatibilité de l'état des sols évalués par Destisol avec des couvertures de sol non scellées, selon les groupes de sols (n=37)

		Pelouse et prairie urbaines	Jardins potager et ornemental	Arbustes	Arbres
Anthrosols	Moyenne	**100,0**	**97,0**	**100,0**	**100,0**
	Ecart type	0,0	1,8	0,0	0,8
Cambisols	Moyenne	**99,0**	**98,0**	**97,0**	**95,0**
	Ecart type	1,2	3,9	3,6	4,1
Planosols	Moyenne	**98,0**	**98,0**	**99,0**	**97,0**
	Ecart type	2,0	2,0	1,1	1,3
Stagnosols	Moyenne	**94,0**	**91,0**	**90,0**	**87,0**
	Ecart type	4,5	5,1	5,7	6,4
Technosols	Moyenne	**92,0**	**89,0**	**88,0**	**86,0**
	Ecart type	8,6	10,9	10,3	10,2

Enfin, les résultats indiquent que de manière générale, un apport en terre végétale sur des Technosols n'induit pas des taux de compatibilités plus élevés pour l'accueil

de couvertures de types « pelouse et prairie urbaines » (R^2 = 0,17) même si une tendance globale positive semble se dégager (Figure 104).

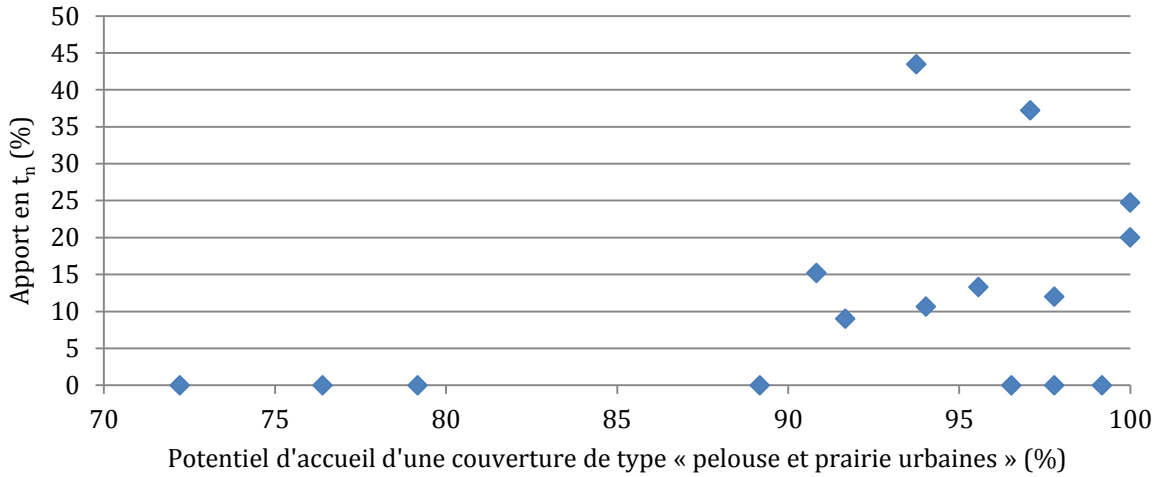


Figure 104 : Apport en terre végétale selon les compatibilités d'accueil de la couverture « pelouse et prairie urbaines » évalués par Destisol – Dans le cas des Technosols (n=16)

Les différences des aptitudes des sols urbains à rendre des services écosystémiques selon leur appartenance à un groupe de sol

Les moyennes des notes des services écosystémiques obtenues en considérant l'ensemble des couvertures de Destisol (Tableau 27) indiquent que les sols des aires urbaines participent à assurer des services relatifs à la « protection contre l'érosion » (moyenne = 2,4 ; écart-type = 0,1), à la « régulation des inondations » (moyenne = 1,9 ; écart-type = 0,1) ou encore à l' « habitat pour la biodiversité » (moyenne = 1,7 ; écart-type = 0,4). De manière sensiblement différente, les sols des aires urbaines présentent des réponses plus faibles aux services de support d'herbacées, d'arbustes et d'arbres et de production de biomasse. La moyenne de réponse au service « support d'herbacées » est de 0,4 (écart-type = 0,1) ; celle pour le service « production de biomasse » est de 0,2 (écart-type = 0,03). Les résultats indiquent ensuite qu'il existe des différences de réponses à certains services en fonction de la classe d'appartenance du sol. A ce titre, les Anthrosols participent davantage à la régulation du climat local (moyenne = 1,6 ; écart-type = 0,04) que les 4 autres groupes de sols (moyenne Cambisols = 1,3 ; moyenne Planosols = 1,1 ; moyenne Technosols = 1,0 ; moyenne Stagnosols = 0,9). De la même manière, ces sols participent davantage à la régulation de la qualité de l'air (moyenne = 1,1 ; écart-type = 0,1) que les 4 autres groupes de sols (moyenne Cambisols = 1,0 ; moyenne Planosols = 0,9 ; moyenne Technosols = 0,7 ; moyenne Stagnosols = 0,6). De plus, les Anthrosols sont les sols qui présentent les notes les plus élevées pour la plupart des services considérés, hormis pour la protection contre l'érosion, où la meilleure moyenne est obtenue pour les Stagnosols (moyenne = 2,5 ;

écart-type = 0,1) et pour l'habitat pour la biodiversité, où ce sont les Cambisols qui présentent la moyenne la plus élevée (moyenne = 2,0 ; écart-type = 0,02). A l'inverse, ce sont les Technosols qui présentent les notes de services écosystémiques les plus faibles, hormis pour la régulation de la qualité de l'air (moyenne = 0,7 ; écart-type = 0,3) où ce sont les Stagnosols (moyenne = 0,6 ; écart-type = 0,2) et la régulation du climat local (moyenne = 1,0 ; écart-type = 0,2), où ce sont également les Stagnosols qui présentent les valeurs les plus faibles (moyenne = 0,9 ; écart-type = 0,2). Cependant, il faut remarquer que les Technosols sont les seuls sols à présenter d'importants écarts-types pour l'ensemble des services considérés. Par exemple, pour le service relatif à l'habitat pour la biodiversité, l'écart-type des Technosols s'élève à 0,6, quand il n'est que de 0,1 pour les Stagnosols ou 0,02 pour les Cambisols. C'est également le cas par exemple pour le service « support d'arbustes », pour lequel l'écart-type des Technosols s'élève à 0,1 et est égal à 0,03 pour les Planosols et 0,01 pour les Anthrosols.

Tableau 27 : Moyenne des notes évaluées par Destisol pour les services écosystémiques, selon les classes de sols (n=37)

		Régulation qualité air	Climat local	Inondation	Erosion	Bio-diversité	Herbacée	Arbuste	Arbre	Biomasse
Anthrosols	Moyenne	**1,1**	**1,6**	**1,9**	**2,5**	**1,8**	**0,5**	**0,3**	**0,3**	**0,2**
	Ecart-type	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Cambisols	Moyenne	**0,9**	**1,2**	**1,9**	**2,4**	**1,9**	**0,4**	**0,2**	**0,2**	**0,2**
	Ecart-type	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Planosols	Moyenne	**0,9**	**1,1**	**1,8**	**2,4**	**1,8**	**0,4**	**0,2**	**0,2**	**0,2**
	Ecart-type	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Stagnosols	Moyenne	**0,6**	**0,9**	**1,9**	**2,5**	**1,7**	**0,3**	**0,2**	**0,2**	**0,2**
	Ecart-type	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Technosols	Moyenne	**0,7**	**0,9**	**1,8**	**2,4**	**1,5**	**0,3**	**0,2**	**0,2**	**0,2**
	Ecart-type	0,2	0,2	0,1	0,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,0
Tous	Moyenne	**0,8**	**1,1**	**1,9**	**2,4**	**1,7**	**0,3**	**0,2**	**0,2**	**0,2**
	Ecart-type	0,2	0,3	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0

V.2. Discussion

V.2.1. L'analyse critique de la méthode de détermination des potentialités des sols urbains par l'évaluation des services écosystémiques

La nécessaire rigueur des étapes préalables

La méthode de détermination des potentialités des sols urbains s'est appuyée sur une première phase de recherche documentaire (Figure 105-1). Cette recherche permet de fournir des informations sur les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des sols du site de projet, permettant d'apprécier les potentielles caractéristiques des sols en présence, comme par exemple le fait qu'ils puissent être calcaires ou présenter des traces d'hydromorphie. Ces éléments sont ensuite compilés avec des informations recueillies dans les bases de données

Basol et Basias. Ces dernières permettent d'apporter des connaissances quant à une possible contamination des sols du site. Enfin, la recherche historique et l'analyse de photographies aériennes permettent d'acquérir des informations sur les différentes successions d'occupations que les sols du site de projet ont accueilli. Une fois l'ensemble de ces informations compilées, il s'avère possible de formuler des hypothèses quant aux types de sols rencontrés, à leur niveau de contamination, leur degré d'anthropisation et leur hétérogénéité verticale et horizontale (Figure 105-2). Cette étape est primordiale, dans le sens où elle permet la production d'une première image en trois dimensions des sols du site, avec une mise en exergue des variations de leurs caractéristiques pédologiques, permettant ensuite la délimitation de zones de sols homogènes (Figure 105-3). De plus, cette première phase conditionne les étapes suivantes de la méthode, en particulier la stratégie d'échantillonnage et le temps passé sur site pour l'étape du diagnostic des sols. Cette première étape a été effectuée dans le cadre du doctorat, sans pour autant avoir été formalisée. En effet, l'ensemble des éléments informatifs recueillis durant l'étape de recherche documentaire a entrainé directement le choix de la localisation des différents profils de sols à ouvrir, sans passer par l'étape de formalisation d'une carte de sols en trois dimensions.

Dans un second temps, une visite de terrain et des sondages à la tarière permettent de valider ou non les hypothèses initiales en vue de confirmer ou non le zonage défini au préalable (Figure 105-4). Il s'avère que cette étape de sondages à la tarière n'a pas été effectuée systématiquement, compte tenu de la difficulté d'échantillonner à la tarière certains sols trop compacts ou inaccessibles. Ainsi, la localisation des profils pédologiques a reposé exclusivement sur la recherche documentaire et la visite de site (*e.g.* type et densité de végétation, état de surface des sols). L'étape suivante est l'ouverture de fosses pédologiques (Figure 105-5). Si une démarche de détermination des potentialités des sols adaptée au milieu urbain préconise l'ouverture et la description d'au moins trois profils de sols par zone homogène (Blanchart *et al.*, 2018a), il s'avère que les interventions se sont souvent limitées à l'ouverture d'un, voire deux profils de sols par zone. Certaines zones de sols n'ont d'ailleurs pas pu faire l'objet de diagnostic de sols. Ceci s'explique notamment par le fait que le budget et les contraintes logistiques n'ont pas permis d'atteindre l'exhaustivité de description de certains sites. Compte tenu de ces éléments limitants, le choix a été de privilégier une description et un échantillonnage les plus rigoureux possibles, et non pas la quantité de profils de sols à décrire. Enfin, l'intervention sur site permet la description et l'échantillonnage de sols en vue de déterminer les potentialités des sols urbains (Figure 105-6).

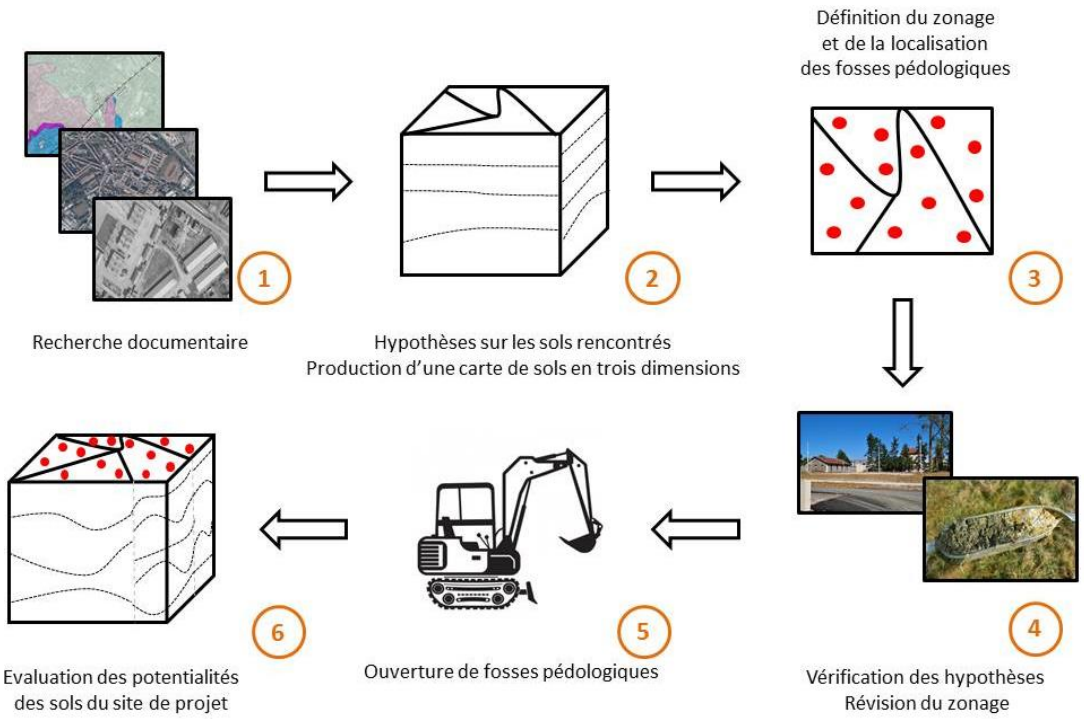


Figure 105 : Formalisation d'une carte des sols en trois dimensions au cours des études préalables

La mobilisation de méthodes robustes d'évaluation d'indicateurs sur le terrain et en laboratoire

La démarche Destisol permet l'acquisition d'indicateurs d'état des sols, dont certains sont uniquement évalués lors de l'intervention sur le terrain, d'autres uniquement mesurés par analyses physiques et chimiques effectuées en laboratoire et d'autres encore évalués à la fois sur le terrain et mesurés en laboratoire.

A titre d'exemple, les indicateurs « texture du sol », « charge en éléments grossiers » et « fraction anthropique » sont évalués à la fois sur le terrain et en laboratoire. Cette double évaluation peut entrainer une note différente pour un même indicateur d'un même horizon de sol. Pour la texture, en considérant le système de notation de la fonction « recyclage matière organique et nutriments », il apparaît ainsi que les notes obtenues par évaluation sur le terrain et mesures en laboratoire sont significativement différentes (R^2 = 0,2) (Figure 106-a). En effet, il y a une forte dispersion des valeurs quelle que soit la classe texturale considérée. Ces différences de résultats se retrouvent également pour l'indicateur « fraction anthropique » (R = 0,40) (Figure 106-b). Ceci étant, il existe une bonne corrélation pour les faibles valeurs (notes de 0 et de 1), mais une certaine dispersion est observée pour les notes supérieures. De nettes différences de notation se retrouvent également pour l'indicateur « charge en éléments grossiers » (en considérant le système de notation de la fonction « rétention des polluants ») puisque le R^2 est faible (0,35) (Figure 106-c). Un dernier exemple est donné en comparant deux indicateurs différents, mais dont l'hypothèse a été faite

qu'ils étaient fortement corrélés : « couleur de l'horizon » évalué sur le terrain et « teneur en matière organique » mesuré en laboratoire. En considérant pour les deux la notation de la fonction « stockage de carbone », il apparaît que la corrélation est moyenne (R^2 = 0,41), en particulier parce que des notes de 0 obtenues par analyse de la concentration en C_{org} correspondent à des notes supérieures pour ce qui est de la couleur de l'horizon (Figure 106-d).

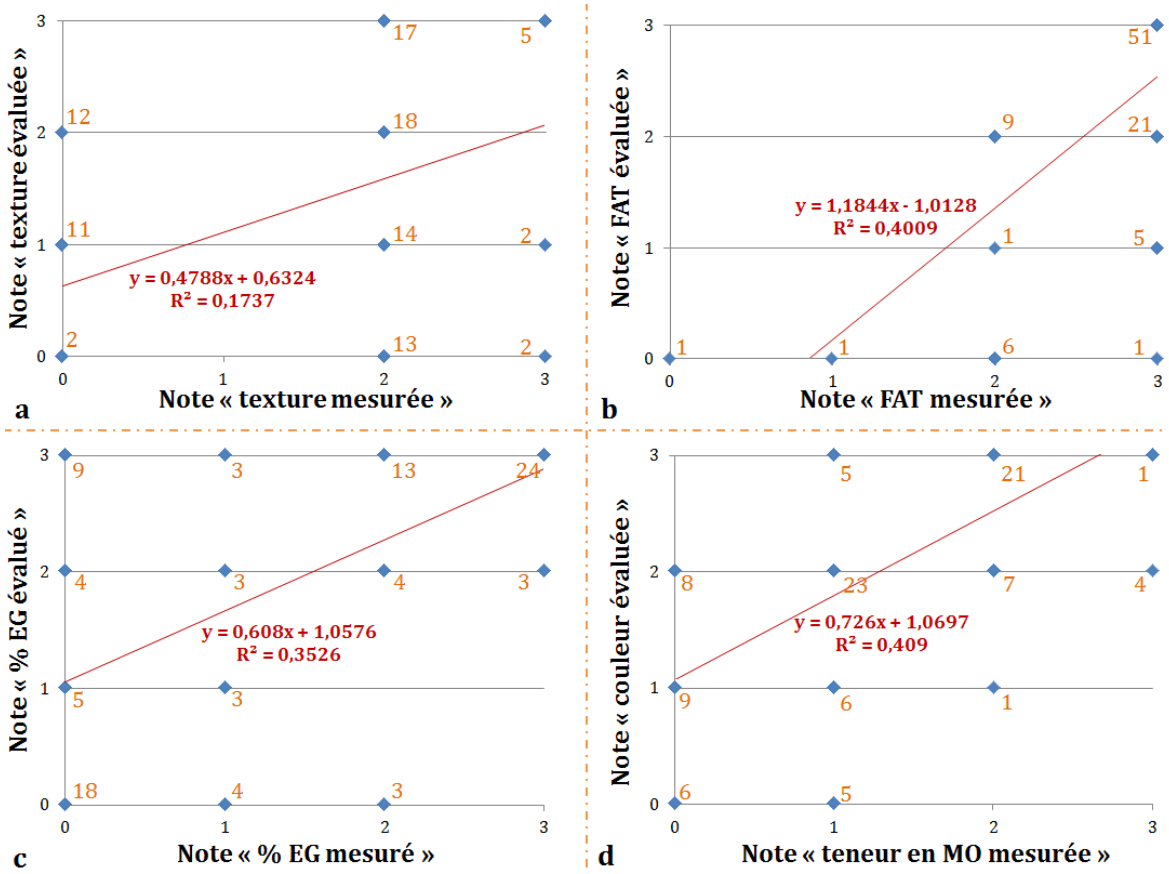


Figure 106 : Notes des indicateurs évalués sur le terrain en fonction des notes des indicateurs mesurés en laboratoire, pour les indicateurs « texture » (a), « fraction anthropique technogénique » (b), « % éléments grossiers » (c) et « couleur » / « teneur en matière organique » (d) – Tous profils (n=37) et horizons de sols confondus (n=96)
Les chiffres en orange renseignent sur le nombre de fois où l'indicateur concerné a reçu la note considérée

L'évaluation d'indicateurs d'état des sols sur le terrain présente de nombreux intérêts, comme le fait qu'elle soit rapide, généralement moins chère que les analyses effectuées en laboratoire et qu'elle permette une meilleure considération du changement d'échelles et en particulier de la variabilité spatiale des sols (Guérif et King, 2007). Cependant, la section ci-dessus témoigne du fait que l'évaluation sur le terrain est moins robuste que celle menée en laboratoire. L'évaluation sur le terrain s'avère en particulier fortement dépendante de l'observateur, de son expertise, des conditions climatiques qui règnent lors de l'intervention de terrain (Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables, 2007)

ainsi que des modes d'échantillonnages des sols qui limitent parfois par exemple la possibilité de prélever de manière représentative le taux d'éléments grossiers présents dans un horizon de sol caractérisé par un pourcentage élevé d'éléments supérieurs à 2mm. De plus, les différences de notes entre terrain et laboratoire résultent du système de notation propre à l'outil Destisol qui repose sur des classes de valeurs. Dans le cas des éléments grossiers, si l'observateur se trompe de quelques pourcents sur la charge en éléments grossiers, la note obtenue par l'indicateur mesuré peut varier de 1 voire de 2 notes par rapport à celle obtenue pour l'indicateur évalué. A ce titre, et afin de limiter ces erreurs d'interprétation, les interventions menées ont permis de mettre en avant le fait qu'il pourrait être utile de développer un niveau d'expertise suffisant pour l'évaluation sur le terrain, pouvant par ailleurs se fonder, de manière complémentaire, sur des outils de mesure de terrain (Figure 107). Il s'agit en premier lieu de la formation à l'évaluation d'indicateurs de description très pertinents (*e.g.* évaluation du stock de C par la couleur des horizons de sol étudiés). Il serait également utile de développer des mesures rigoureuses de terrain : mesure de pH avec l'aide d'un pH-mètre de terrain ; de spectroscopie proche infrarouge (*e.g.* NIRS), d'activité et de diversité biologique avec la pose et le relevé de pots-pièges ; ou encore des caractéristiques mécaniques des sols du site notamment par la mobilisation de méthodes empruntées au génie civil. Le nombre d'indicateurs mesurés en laboratoire pourrait également être légèrement augmenté, afin de renforcer, en particulier, le diagnostic géotechnique des sols urbains (Figure 107).

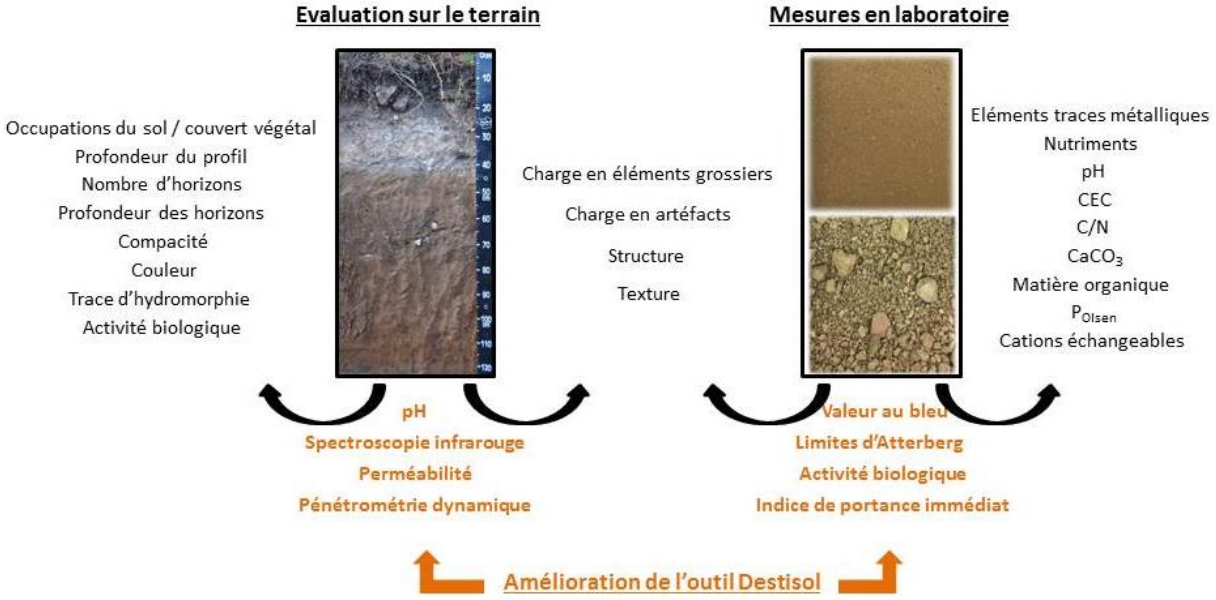


Figure 107 : Liste des indicateurs évalués et mesurés par l'outil Destisol et proposition d'indicateurs supplémentaires en vue d'une amélioration de la détermination des potentialités des sols urbains

V.2.2. Les pistes d'amélioration de l'outil d'aide à la décision Destisol

La révision de certaines règles de décision

La mobilisation de l'ensemble des mesures des indicateurs d'état des sols urbains échantillonnés a permis la modification d'un certain nombre de règles de décision de l'outil Destisol. Concernant l'évaluation des niveaux de fonctions, les campagnes d'échantillonnage et d'analyses de sol ont permis d'affiner les limites des classes de valeurs de certains indicateurs d'état. Ceci est notamment vrai dans le cas des indicateurs liés au pourcentage en éléments grossiers et en artéfacts, à la couleur de l'horizon et à sa texture, dont les limites de classe de valeurs ont été réévaluées. De plus, concernant l'évaluation des couvertures, les données mobilisées ont permis de modifier certaines valeurs minimales que doit obtenir la fonction pour permettre une couverture particulière. Le test de l'outil a également permis de développer un sous-module au sujet de l'évaluation des couvertures, qui a été intégré comme module 3-2 dans la version actuelle de l'outil. Enfin, toujours au sujet de l'évaluation des couvertures, la mobilisation de Destisol a apporté la nécessité d'exprimer la possibilité d'accueil d'une couverture de sol à l'aide d'un pourcentage, représentant la compatibilité entre l'état du sol et la couverture considérée. Ce pourcentage de compatibilité permet à l'opérateur urbain (*e.g.* aménageur, maitre d'œuvre) d'apprécier le type et l'intensité du travail à effectuer sur le sol afin que ce dernier puisse accueillir une couverture en particulier. Cette intensité de travail humain à fournir pour adapter le sol à la couverture est plus importante au fur et à mesure que le pourcentage de compatibilité évalué par Destisol est faible.

L'amélioration de la paramétrisation de l'outil Destisol

Le système de scoring permettant d'attribuer une note à un indicateur évalué est un système souvent utilisé dans la littérature pour évaluer les fonctions et services écosystémiques rendus par les sols (Schindelbeck *et al.*, 2008 ; Keller *et al.*, 2012). A cet égard, Destisol transforme des valeurs (quantitatives et qualitatives) d'indicateurs en nombre entier allant de 0 à 3 (Figure 108). Ce système ne permet actuellement pas d'être complètement représentatif de la réalité de l'état des sols. Il serait utile de tester un système de notes progressives, selon les indicateurs considérés, pour être au maximum représentatif du fonctionnement et de l'état des sols diagnostiqués (Figure 108). De plus, ce système de notation ne considère pas, dans l'évaluation des fonctions notamment, les interactions entre indicateurs, qui existent pourtant dans la réalité (Peres, 2003 ; ADEME, 2017). Chaque indicateur est actuellement interprété de manière séparée. Il semblerait pertinent, dans des versions futures de l'outil, d'envisager comment prendre en compte l'interprétation croisée de certains indicateurs (*e.g.* concentration en C organique et classe texturale). Ceci nécessiterait de développer des modules complémentaires et de modifier à la marge la paramétrisation de l'outil.

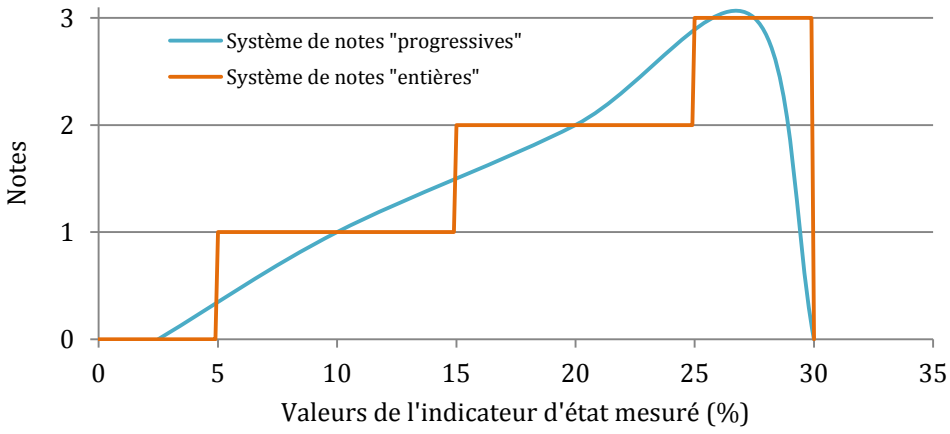


Figure 108 : Différence de notation entre le système « notes entières » et le système « notes progressives »

Une autre piste d'amélioration possible de la paramétrisation de l'outil concerne la considération des niveaux de contamination. A l'heure actuelle, Destisol considère le caractère contaminé ou non d'un sol par comparaison avec des concentrations issues du fond géochimique (Baize, 2000). L'outil prend également en compte les facteurs susceptibles de contrôler le transfert de ces polluants (*e.g.* pH, texture, couverture du sol). Dans une certaine mesure, ceci peut permettre d'évaluer la fonction de filtre du sol. Par contre, selon la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, la détermination des concentrations compatibles avec un usage donné est complexe et nécessite de prendre en compte la spécificité de chaque scénario. Ceci est actuellement impossible dans la version de l'outil. La piste d'amélioration est bien entendu de trouver une manière de faire communiquer entre eux les résultats du diagnostic pollution et celui, plus général, de détermination des potentialités des sols urbains.

Le nécessaire développement d'une méthodologie d'évaluation et d'estimation des services écosystémiques

La mise en œuvre de Destisol sur 10 sites de projets urbains a permis d'améliorer et de proposer des recommandations d'amélioration de l'outil. Cependant, le nombre de sites étudiés a induit le fait qu'il existe finalement peu de sols fortement anthropisés qui ont été analysés et ont ainsi permis d'incrémenter l'outil Destisol. En vue de l'amélioration de cet outil, il sera alors nécessaire d'envisager de le tester sur des sites aux sols fortement anthropisés et aux situations contrastées (*i.e.* couvertures, classes de sols). C'est l'un des objectifs scientifiques de l'axe OSER, nouvel axe de recherche du LSE du quinquennal 2018-2023.

V.2.3. L'adaptation de la méthode d'évaluation en fonction du degré d'anthropisation des sols du site de projet urbain

Comme expliqué dans le chapitre précédent, les sols des aires urbaines ne sont pas uniquement des sols fortement anthropisés. Aussi, la méthodologie d'évaluation des services écosystémiques proposée doit s'adapter à cette variabilité du degré d'anthropisation des sols urbains.

L'adaptation du plan d'échantillonnage

Considérer le degré d'anthropisation des sols urbains impose d'adapter le plan d'échantillonnage. Par exemple, sur le site de La Haie Cerlin (MGN), seules deux zones de sols homogènes ont été définies, compte tenu du fait que ces sols sont des Stagnosols, ayant toujours subi la même occupation agricole et n'ayant pas été l'objet de changements d'usages anthropiques contrastés au cours du temps. Les sols de Biancamaria (MGN) ou du Plan d'Aou (MAMP) sont pour leur part des Technosols, caractérisés par des occupations contrastées et des successions d'usages marqués au cours du temps. Ces parcelles ont alors nécessité la définition de 5 et 4 zones de sols homogènes. Ainsi, l'intensité des investigations de sols (*e.g.* nombre de zones de sols homogènes et de profils de sols) doit être proportionnelle au niveau d'anthropisation des sites étudiés.

Le caractère optionnel du diagnostic de terrain

A ce stade, il peut sembler pertinent, pour les sols les moins anthropisés (*e.g.* mono-occupations forestières ou agricoles), de ne pas forcément conduire l'étape de diagnostic de terrain. En effet, si des cartes pédologiques ou des informations sur la nature des sols sont disponibles à un niveau de résolution suffisant, il peut être possible d'estimer leurs principales caractéristiques biologiques, physiques et chimiques. En complément, quelques sondages à la tarière, voire des tests à la bêche, peuvent également être effectués, comme c'est actuellement le cas lors des diagnostics de sols agricoles (Peigne *et al.*, 2016), afin de venir conforter les résultats de la recherche documentaire.

V.2.4. La couverture de sol comme facteur inhibant ou optimisant les niveaux de services écosystémiques rendus par les sols urbains

Les notes obtenues pour l'évaluation des fonctions permettent de mettre en avant le fait que les sols urbains, quel que soit leur degré d'anthropisation, sont aptes à assurer des fonctions écosystémiques. Si ces niveaux de fonctions sont variables selon les caractéristiques bio-physico-chimiques du sol considéré (Dominati *et al.*, 2010), ils sont en moyenne très élevés pour l'ensemble des sols échantillonnés. Les sols urbains participent ainsi au recyclage de la matière organique et des nutriments, au stockage de C_{org} (Cambou *et al.*, 2018)

et à l'infiltration de l'eau, et assurent une fertilité optimale pour le développement d'herbacées, d'arbustes et d'arbres.

Les résultats liés au projet Destisol indiquent également que les sols urbains sont aptes à fournir des services écosystémiques, et ce quel que soit leur degré d'anthropisation. C'est le cas notamment des services liés à la régulation de la qualité de l'air, du climat et des aléas naturels, à la purification de l'eau, au stockage des déchets ou encore à l'habitat pour la biodiversité qui sont des services assurés à haut niveau, pour la plupart des sols échantillonnés et pour la plupart des couvertures considérées. Cependant, les notes obtenues pour certains services sont plus faibles que celles obtenues à l'étape des fonctions. C'est notamment le cas des services de support d'herbacées, d'arbustes et d'arbres, qui obtiennent, pour toutes couvertures de sol, des notes inférieures à 1 pour l'ensemble des sols considérés. A l'étape de l'évaluation des fonctions, les notes de « fertilité herbacées », « fertilité arbustes » et « fertilité arbres » sont, pour l'ensemble de sols, supérieures à 1 voire à 2 dans la majorité des cas. Ces résultats mettent en avant le rôle majeur joué par la couverture du sol dans l'expression des services écosystémiques. Dans certains cas, les couvertures de sol viennent inhiber le fonctionnement des sols et donc l'expression de certains services écosystémiques. A titre d'exemple, les couvertures de scellées permettent un niveau d'expression de services écosystémiques similaire pour chacun des sols considérés, estompant ainsi le fonctionnement des sols et l'expression de ces services écosystémiques. A l'inverse, certaines couvertures de sol permettent une expression optimale des services rendus par les sols. Les couvertures de sol non scellées induisent des réponses aux services écosystémiques très variables entre chacun des sols considérés, résultant de leurs propres caractéristiques bio-physico-chimiques. Compte tenu des enjeux des projets urbains à être de plus en plus performants d'un point de vue environnemental, mais également économique et social, cette démarche pourrait être intégrée dans les stratégies d'aménagement développées à l'échelle d'un îlot, afin de déceler quelle couverture de sol participerait le plus à une optimisation des services écosystémiques rendus par les sols des sites de projets. Les sols pourraient alors être en mesure de participer aux attentes programmatiques des projets urbains (*e.g.* développement végétal, support de bâtiments ou d'infrastructure).

V.2.5. L'impossibilité d'extrapoler les services écosystémiques rendus par les sols fortement anthropisés *via* une approche par typologie de sols

La connaissance approfondie des propriétés bio-physico-chimiques des sols naturels permet aujourd'hui aux pédologues et aux exploitants (*e.g.* agricoles, forestiers), de savoir faire le lien entre une classe de sol et les potentialités de ce sol en termes de productions de fonctions

et services écosystémiques, relatifs en particulier à sa fertilité (Delaunois, 2013). Nos résultats soulignent à ce titre que des sols faiblement anthropisés, appartenant à une même classe de sols (*e.g.* Cambisols, Stagnosols, Planosols), présentent peu d'hétérogénéité dans leurs niveaux de réponses pour les fonctions et les services écosystémiques. Il s'avère alors possible de déduire les fonctions et services assurés par un sol appartenant par exemple au groupe des Cambisols, par extrapolation des niveaux de fonctions et services rendus par un Cambisol d'une même région et développé dans un même contexte. Cette approche par typologies de sols a été discutée dans l'article de Morel *et al.* (2014) à propos des sols anthropisés, considérant que les sols ayant la même origine sont aptes à rendre des niveaux de services écosystémiques équivalents. Nos résultats indiquent que les Technosols présentent d'importantes variabilités dans l'expression de leurs fonctions et services, résultant des différences d'intensités de modifications de leurs propriétés bio-physico-chimiques par les activités humaines. Ces résultats tendent à souligner le fait qu'un Technosol d'une aire urbaine ne présentera pas forcément les mêmes niveaux de fonctions et services qu'un autre Technosol situé à quelques dizaines de mètres dans la même aire urbaine. L'extrapolation des niveaux de fonctions et services rendus ne peut donc être faite par une approche par typologie de sols si l'on considère des sols fortement anthropisés. Diagnostiquer les potentialités des sols fortement anthropisés des aires urbaines nécessite en effet une description exhaustive et rigoureuse de leurs caractéristiques bio-physico-chimiques, passant forcément par l'ouverture de fosses pédologiques, la description des profils, l'échantillonnage et la caractérisation des sols.

Conclusion

La méthode engagée et l'utilisation de l'outil Destisol permettent d'appréhender la diversité et l'hétérogénéité des sols présents dans les aires urbaines, y compris ceux qui sont les plus fortement modifiés par les activités humaines. Grâce à un diagnostic de sols de sites de projets urbains, il est en effet possible de déterminer les potentialités des sols urbains par l'évaluation des fonctions et des services écosystémiques. La mise en œuvre de cet outil sur dix sites de projets urbains dans trois Métropoles françaises et trois types de projets urbains a permis d'améliorer le fonctionnement de l'outil et notamment ses règles de décision. Il a également été possible de mettre en exergue quelques-unes de ses limites et donc de formuler des propositions d'amélioration, concernant pour la plupart, des éléments de paramétrisation de l'outil. L'utilisation de cet outil a surtout rendu possible l'évaluation des fonctions, couvertures et services écosystémiques rendus par des sols urbains. Les résultats soulignent l'aptitude des sols fortement anthropisés à rendre des services et confirment leur forte

hétérogénéité au sein des aires urbaines. Un tel diagnostic autorise alors à mettre en évidence la couverture de sol qui permettrait une expression à haut niveau des fonctions et des services écosystémiques rendus par les sols urbains. Cette démarche pourrait alors orienter les décisions des professionnels de l'urbanisme opérationnel concernant les éléments de programmation à localiser à l'échelle de l'îlot de projet urbain.

Ces résultats conduisent alors à se poser deux questions relatives à ce travail de doctorat :

1) est-il possible de généraliser la détermination des potentialités des sols à l'échelle d'une aire urbaine ? ;
2) cette méthodologie de détermination des potentialités des sols urbains par l'évaluation de leurs services écosystémiques peut-elle être intégrée aux stratégies de la fabrique urbaine en vue de participer à la construction de villes durables ?

Chapitre VI – Prise en compte des potentialités des sols dans la fabrique urbaine

Discussion générale

Les précédents chapitres de ce manuscrit permettent de comprendre (i) comment les informations relatives aux sols urbains sont appréhendées dans l'aménagement du territoire et l'urbanisme opérationnel, (ii) quel est l'état des sols urbains et (iii) quels services écosystémiques ces systèmes urbains sont aptes à fournir. Dans cette discussion générale, ces résultats seront croisés afin de comprendre la manière dont les informations relatives aux potentialités des sols pourraient servir à participer aux stratégies de développement de la fabrique urbaine. A ce titre, cette discussion générale se structure en deux parties :

- une discussion à la portée scientifique, qui s'attache à croiser les résultats de la thèse avec ceux avancés dans la littérature, en vue de formuler certaines perspectives de recherche, relatives notamment au changement d'échelle de considération des potentialités des sols urbains en vue de l'aménagement durable d'aires urbaines ;
- une discussion à la portée opérationnelle, qui s'attache à mettre en avant de quelle manière les informations sur les potentialités des sols urbains peuvent être appréhendées par les acteurs de projets urbains. Les résultats de cette section proviennent des méthodes décrites à la section II.2.5.

VI.1. Discussion générale à portée scientifique

Cette partie de la discussion générale permet (i) de souligner les limites et améliorations possibles de ce travail de recherche et (ii) de proposer des perspectives de recherche pour les futurs travaux relatifs à la pédologie urbaine et/ou à la fabrique urbaine.

VI.1.1. La considération de nouveaux indicateurs d'état dans l'évaluation des potentialités des sols urbains

L'intégration de paramètres physico-chimiques supplémentaires dans l'évaluation des services écosystémiques rendus par les sols urbains

Les résultats ont contribué à démontrer que le paramètre physique qu'est l'abondance de la fraction grossière renseigne sur le degré d'anthropisation d'un sol urbain. En effet, sa teneur dans la composition d'un sol urbain peut aller, pour les sols les plus anthropisés, jusqu'à plusieurs dizaines de pourcents (en masse ou en volume). Pendant longtemps, d'après la littérature, cette fraction d'éléments supérieurs à 2mm a suscité peu d'intérêts (Tarzia *et al.*, 2002; Remon *et al.*, 2005). Et pourtant, elle joue un rôle majeur dans les fertilités physique (*e.g.* pénétrabilité des racines, circulation et disponibilité de l'eau) et chimique (*e.g.* disponibilité des éléments nutritifs) des sols (Tetegan *et al.*, 2011 ; Tetegan *et al.*, 2015). Dans la littérature, certains travaux renseignent également sur le fait que la fraction grossière, souvent considérée comme inerte, peut être une source de contaminants (*e.g.* métaux lourds) induisant des fonctionnements de sol particuliers (Dermont, 2008 ; El Khalil *et al.*, 2008). Les analyses réalisées sur les échantillons de sol ont permis d'apporter des informations quant à leur fraction grossière. Elles se sont concentrées à évaluer leur teneur (poids en masse) ainsi que leur composition (*e.g.* cailloux, galets, céramique, verre, plastique).

*Cependant, considérant le rôle essentiel que joue la fraction grossière dans la capacité des sols urbains à assurer leur portance, à être producteurs de biomasse ou encore à participer à la réduction du risque d'érosion, de futurs travaux gagneraient à étudier plus précisément ce compartiment. A titre d'exemple, les analyses de la composition et de la proportion de la fraction grossière pourraient être complétées par une analyse de leur taux de fragmentation et de décomposition (Laurent et Fondrillon, 2010). Ces informations permettraient alors d'élaborer une typologie des éléments grossiers classiquement rencontrés dans la composition d'un sol urbain et de comprendre la contribution de chacun de ces éléments aux potentialités des sols (*e.g. *fertilités physique et chimique, risques liés à la pollution).*

Les résultats ont également permis de montrer que les sols les plus anthropisés des aires urbaines peuvent participer à haut niveau au stockage du carbone organique. Cependant, le doctorat n'a pas eu pour vocation d'évaluer la contribution de ces sols fortement anthropisés à l'atténuation du changement climatique et ne s'est pas non plus intéressé finement à l'étude des mécanismes de cette séquestration, en particulier à celui de l'évolution des stocks au cours du temps. A ce titre, les travaux d'Aurélie Cambou (doctorat, EPHor-LSE) permettent d'avancer des premiers éléments de réponses à ces enjeux puisqu'ils démontrent que les sols urbains constituent des stocks significatifs de carbone ($1{,}6x10^9$ kgC) comparés aux sols agricoles ($1{,}1x10^9$ kgC) et mêmes forestiers ($1{,}3x10^9$ kgC) (Cambou *et al.*, 2018 – Exemple donné pour les terres de surface des sols de l'aire urbaine de Paris).

La question de la dynamique du carbone dans des sols très anthropisés – notamment en lien avec la localisation de cette matière organique au sein d'un profil de sol, y compris en profondeur, reste largement à traiter.

L'intégration de nouveaux paramètres biologiques dans l'évaluation des indicateurs d'état des sols urbains

Concernant les paramètres biologiques, les démarches d'analyses des échantillons de sols se sont principalement concentrées sur l'étude du type de couvert végétal, sur la densité racinaire ou encore sur les traces d'une activité biologique au sein du profil de sol. Cette approche restreinte par la volonté de n'utiliser que des indicateurs simples et rapides à évaluer nous a conduit à négliger un grand nombres d'indicateurs biologiques renseignant sur le fonctionnement des sols des milieux urbains (Blanchart, 2012 ; Doran et Zeiss, 2000 ; Bardgett, 2002; Cole *et al.*, 2006 ; Havlicek, 2012; Gerlach *et al.*, 2013 ; Vincent, 2018) :

- la microflore (Martinez-Salgado *et al.*, 2010) par l'étude de la biomasse microbienne, de la diversité taxonomique, de l'activité enzymatique ou encore de la minéralisation ;
- la microfaune (Bongers, 1990 ; Abawi et Widmer, 2000 ; García-Ruiz *et al.*, 2009 ; Culman *et al.*, 2010) par l'étude des communautés de nématodes notamment ;
- la mésofaune (Fountain et Hopkin, 2004 ; Parisi *et al.*, 2005 ; Socarras, 2013 ; Joimel *et al.*, 2017) par l'étude des microarthropodes ;
- la macrofaune (Velasquez *et al.*, 2007 ; Ruiz *et al.*,2011 ; Santorufo *et al.*, 2012).

Les futurs travaux relatifs à la détermination des potentialités des sols urbains pourraient ainsi intégrer pleinement ces compartiments biologiques. Cela nécessiterait la détermination d'une liste d'indicateurs, facilement analysables, qui correspondraient à l'étude de chacun de ces compartiments.

L'intégration de nouveaux paramètres relatifs à la contamination

Les données analytiques obtenues ont ponctuellement révélé des contaminations métalliques des sols urbains. Néanmoins, les moyens mis en œuvre n'ont pas permis d'étudier d'autres polluants. Pourtant, il en existe bien d'autres qui constituent des enjeux environnementaux et sanitaires majeurs dans les sols en France (*e.g.* hydrocarbures, composés organiques volatiles, substances radioactives) (Basol, 2015).

Au-delà de la présence de ces polluants dans les sols ou les eaux, ce doctorat n'a pas eu vocation à appréhender d'autres questions relatives à cet enjeu. En premier lieu, il s'avèrerait pertinent de considérer d'autres indicateurs permettant d'intégrer la disponibilité des polluants et les échanges entre les compartiments de l'écosystème. A ce jour, les méthodes chimiques basées sur l'extraction, même si elles ont démontré leur pertinence, s'avèrent compliquées à intégrer de manière systématique du fait de leurs coûts élevés mais également de la difficulté d'interprétation des résultats qui persiste encore aujourd'hui. Ces éléments induisent de fait la nécessité de considérer d'autres approches. En second lieu, la prise en compte de l'exposition en lien avec les usages futurs du site de projet est évidemment cruciale sur cet aspect ; cette question est néanmoins au centre des travaux actuels dans le domaine du diagnostic des sites et sols pollués.

VI.1.2. L'intégration de nouveaux services écosystémiques rendu possible par le recours à des méthodologies développées dans d'autres disciplines que les sciences du sol et l'urbanisme opérationnel

L'évaluation des services écosystémiques développée au cours de ce doctorat considère un nombre d'indicateurs, de fonctions et de services volontairement restreint. Les résultats soulignent cependant que ces indicateurs et services ne parviennent pas à traduire entièrement l'ensemble des prescriptions urbaines considérées dans la fabrique de la ville. Dans la littérature, il est à ce titre renseigné que les sols, y compris les plus anthropisés, sont aptes à participer à la production de services relatifs, par exemple :

- au support : cycle des nutriments, formation des sols, ressource en bois, ressource en fibre, ressource en matériaux bruts, ressources génétique (*e.g.* chimie, activité pharmaceutique) ;
- à la régulation : ravageurs, pathogènes ;
- à la culture : esthétique, paysage, histoire, art, loisir, lien social.

Si les services de support et de régulation cités précédemment ne semblent pas être ceux à évaluer en priorité, car ne semblent pas constituer les services attendus en priorité en milieu urbain, ils pourraient être intégrés dans l'évaluation des potentialités des sols urbains dans une perspective

à moyen terme, en supposant par exemple que l'espace urbain développera une plus grande perméabilité avec les espaces agricoles productifs. Concernant les services liés à la culture, il peut être avancé que si les professionnels de l'urbanisme opérationnel n'espèrent pas en priorité obtenir des informations sur les potentialités des sols urbains à être utilisés comme pigments pour les peintures ou comme objet spirituel et religieux, ils aspirent fortement à connaitre les capacités des sols à accueillir un paysage esthétique ainsi que des activités relatives aux loisirs. L'évaluation de ces services s'avère donc prioritaire à intégrer dans une démarche d'évaluation des potentialités des sols urbains. A ce titre, dans la littérature, de nombreuses recherches liées à l'évaluation des écosystèmes rendus par les sols ne parviennent pas à proposer des méthodes d'évaluation de ces services culturels pour le contexte urbain (Walter et al.*, 2014), compte tenu de la difficulté (i) de définir un certain nombre de services culturels et (ii) d'apprécier la contribution des écosystèmes à ces services majoritairement non marchands (*e.g. *esthétique, récréation) (Lespez* et al.*, 2016). L'évaluation de ces services culturels renvoyant à l'appréciation d'un paysage par un individu pourrait alors plus facilement être effectuée à travers des méthodologies empruntées au monde de l'économie ou à travers le recours à des représentations sociales. En effet, la lecture de la littérature permet de comprendre que de certains professionnels de ces disciplines élaborent des stratégies d'évaluation des services culturels (Veschambre, 2007 ; Daniel* et al.*, 2012 ; Banos et Rulleau, 2014). Par exemple, la méthode des coûts-déplacements (estime la valeur de l'usage récréatif d'un site) ou encore celle des prix hédoniques (traite de la valeur économique d'un paysage) permettent d'apprécier la valeur de ces services (Maillefert et Petit, 2017). De plus, il s'avère que les professionnels exerçant à la Direction Régionale des Affaires Culturels (DRAC) évaluent quotidiennement une grande partie des services culturels rendus par les sols (*e.g. *patrimoine, histoire, archéologie, mémoire) à travers la réalisation de diagnostics du patrimoine archéologique lors d'interventions programmées au cours de projets d'aménagement urbain. A ce titre, l'évaluation des services culturels rendus par les sols urbains pourrait être facilitée en menant un travail interdisciplinaire entre spécialistes des sciences du sol et acteurs du monde de l'économie et du social. Ces réflexions s'inspirant de méthodologies élaborées dans d'autres disciplines induiraient* in fine *le recours à de nouveaux indicateurs, dont la liste pourrait être élaborée lors de ces rencontres interdisciplinaires.*

L'ensemble des résultats présentés tout au long de ce manuscrit ainsi que cette idée d'avoir recours à d'autres champs disciplinaires pour améliorer l'évaluation des services écosystémiques rendus par les sols urbains amènent à discuter d'un concept avancé dès les premières parties de manuscrit et fortement lié à cette notion de services écosystémiques : les potentialités d'un sol urbain. Comme il a été souligné dans l'état de l'art,

ce concept est issu de la recherche agronomique et est largement utilisé pour faire référence à la manière de gérer la fertilité d'un sol en vue de produire de la biomasse. Or, les sols urbains ne sont pas tous producteurs de biomasse. Ils accueillent en effet une diversité d'autres usages, tels que le support de bâtiments ou encore le développement de voies de transports.

A ce titre, en milieu urbain, la notion de « potentialité » d'un sol dépasse largement sa possibilité à produire de la biomasse. Il pourrait alors être envisagé que la mobilisation de ce concept en milieu urbain dépasse sa seule « fertilité » et appréhende également son aptitude à être support d'usages divers et sa possibilité à fournir d'avantages de services écosystémiques tout aussi utiles pour les acteurs de la fabrique urbaine à évaluer.

VI.1.3. L'intérêt à considérer les interfaces et le caractère dynamique des sols urbains à l'échelle du site de projet urbain

La prise en compte des interfaces de sols dans la description et l'évaluation de leurs potentialités à travers la mobilisation de l'écologie du paysage

Lors du doctorat, la description et l'échantillonnage des sols ont été conduits par le biais d'investigations ponctuelles sous la forme de fosses pédologiques révélant des profils de sols jugés représentatifs de zones de sol homogène. Cette approche méthodologique considère alors les sols des sites de projet comme des fragments isolés, juxtaposés les uns à côté des autres. Or, le sol urbain, malgré sa fréquente hétérogénéité et à l'instar de nombreux autres écosystèmes naturels, est un système spatialement continu. A ce titre, la méthode d'échantillonnage proposée s'abstrait de toute considération de processus spatiaux relatifs aux sols des sites de projet. Par exemple, dans la réalité, les déplacements d'organismes vivants, la continuité du couvert végétal ou encore l'écoulement horizontal de l'eau ne tiennent pas compte des limites artificielles des zones représentatives dégagées pour chaque intervention sur les sites de projet (Reulier *et al.*, 2016). De plus, la méthode d'échantillonnage proposée, puisqu'elle considère les sols comme des pièces de puzzle juxtaposées, ne tient pas compte de l'ensemble des processus biologiques, physiques et chimiques qui peuvent avoir lieu aux niveaux des interfaces (entre les sols eux-mêmes et entre les sols et les autres systèmes urbains) (CNRS, 2017). La revue de la littérature permet également de comprendre que l'environnement d'un site de projet a une incidence sur les caractéristiques biologiques, physiques et chimiques des sols de ce site (Small *et al.*, 2006 ; Dunger et Voigtländer, 2009 ; Vanhee *et al.*, 2017). Par exemple, dans ses travaux, Vincent (2018) a démontré que l'existence de forêts à proximité de sols délaissés favorise sensiblement la présence de certaines espèces sur ces sites abandonnés. A ce titre, les continuités spatiales (i) intra-sites et (ii) entre le site et l'environnement alentour

influent sur les caractéristiques biologiques, physiques et chimiques des sols urbains, et donc sur leur aptitude à fournir des services écosystémiques.

L'enjeu serait alors de parvenir à développer des méthodologies d'évaluation des potentialités des sols urbains capables de tenir compte de ces continuités spatiales. Il s'avère que la considération de l'influence de l'environnement alentour au site de projet sur les services écosystémiques rendus par les sols urbains se réfère à la notion de « changement d'échelle », qui sera développée dans la section suivante. Aussi, cette section s'attache à proposer des premières pistes de réflexion quant à une considération de la continuité spatiale intra-sites. Pour cela, une des solutions pourrait être d'avoir recours à l'ouverture de tranchées pédologiques et non plus seulement de fosses pédologiques. Réalisées d'un bout à l'autre du site de projet, et selon un quadrillage défini au préalable, ces tranchées permettraient en effet d'appréhender la continuité spatiale des sols du site. Une autre solution pourrait être le recours aux méthodes géophysiques. Ces méthodes non destructives, tels que l'électromagnétisme ou encore la spectroscopie, permettent d'appréhender les variations latérales en termes de propriétés géophysiques des sols (Rey, 2005). L'objectif serait alors de trouver des relations permettant de traduire les résultats de ces méthodes géophysiques en paramètres biologiques, physiques et chimiques. D'après la littérature, il semble exister des corrélations entre les paramètres géophysiques et les paramètres physiques et géotechniques du sol (Ghose, 2004). Il serait alors indispensable de trouver des corrélations entre les paramètres géophysiques et leurs caractéristiques. L'objectif serait également de comprendre de quelle manière ces travaux pourraient être adaptés aux systèmes très anthropisés que sont les Technosols et Anthrosols, compte tenu de l'extrême diversité de leurs paramètres bio-physico-chimiques. Enfin, il serait utile de s'intéresser à des approches intégratrices développées dans d'autres disciplines. A ce titre, les méthodologies développées en écologie du paysage, dont les objectifs sont liés à la variation spatiale et à l'étude de la fragmentation des paysages (Forman et Godron, 1986), seraient intéressantes à considérer pour participer à l'appréhension de la continuité spatiale intra-sites (Burel et Baudry, 1999). L'un des concepts fondateurs de ce champ disciplinaire est d'ailleurs l'idée que « les éléments d'un paysage dépendent les uns des autres dans leur fonctionnement et leur évolution » (Burel et Baudry, 1999). S'inspirant des recherches menées dans ce domaine, les futures propositions de méthodologies d'évaluation des potentialités des sols urbains pourraient alors intégrer de nouveaux indicateurs relatifs à la continuité des paysages et leurs interactions. Ces indicateurs pourraient alors être la surface totale et la géométrie du site de projet, la surface totale de chaque zone de sol homogène ou encore la surface de contact entre les zones.

La considération du caractère dynamique des sols urbains dans l'évaluation de leurs potentialités

Comme tout système, les sols urbains, qu'ils soient faiblement ou fortement anthropisés, présentent une évolution plus ou moins marquée dans le temps en fonction de la fréquence des changements d'usage auxquels ils sont soumis. Or, la démarche engagée d'évaluation des potentialités des sols urbains repose sur des campagnes de description et d'échantillonnage qui ont été réalisées, pour chaque profil de sol, une seule fois au cours du temps. Ceci ne permet donc pas de considérer l'évolution pédogénétique des sols urbains. Par anticipation des arguments énoncés dans la discussion opérationnelle à venir, ces démarches de caractérisation des sols urbains se feront préférentiellement dans les phases amont du projet urbain. Or, en fonction de ses objectifs et de son envergure, le déroulement d'un projet urbain peut parfois prendre de cinq à dix ans. Ceci, corrélé au fait qu'en milieu urbain les sols présentent une cinétique d'évolution parfois très rapide, amène à se poser une question : comment la description et l'analyse des sols urbains à un instant t peut permettre de déterminer les futurs usages d'un site de projet qui ne seront réalisés que X années après ? Cette question renvoie à la nécessité de considérer le caractère dynamique des sols urbains dans l'évaluation de leurs potentialités. Ce caractère dynamique résultant à la fois de processus « naturels » et anthropiques (volontaire ou involontaire) qui se superposent, sa considération s'avère complexe. De plus, cette problématique de recherche se doit d'être posée à l'échelle du site de projet urbain, mais également à celle de l'aire urbaine toute entière.

*Pour ce faire, des travaux complémentaires à l'échelle du site sont nécessaires à développer pour comprendre dans quelles mesures les propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains évoluent (i) entre les phases amont de diagnostic du site et le chantier d'aménagement (de quelques mois à quelques années), (ii) au cours du chantier d'aménagement (quelques mois) et (iii) entre le chantier d'aménagement et la livraison du projet urbain (de quelques mois à quelques années en fonction de la phase de travaux concernée). A l'échelle de l'aire urbaine, la considération des évolutions temporelles des potentialités des sols urbains pourrait se faire en ayant recours à la mise en place de living lab ou de stratégies de monitoring des sols urbains à des endroits représentatifs de l'aire urbaine. L'implantation de stations-tests dans des aires urbaines, sous la forme d'installation de stations lysimétriques, pourrait en effet permettre d'acquérir des résultats quant à certains paramètres de sol (*e.g. *humidité, pH) régulièrement au cours du temps. L'installation de telles stations dans des secteurs représentatifs de différents usages, typologies et fonctionnement pédologique de sols rencontrés au sein d'une aire urbaine permettrait de fournir des connaissances sur le fonctionnement et l'évolution des propriétés des sols, qui pourraient être intégrés dans des modèles eux-mêmes intégrés à l'outil d'évaluation des potentialités des sols urbains. La prédiction de l'évolution temporelle des sols des milieux*

urbains pourrait également être réalisée en utilisant les valeurs des paramètres bio-physico-chimiques analysés lors de la campagne de terrain et en laboratoire, et en développant des modèles de prédiction qui intégreraient l'évolution pédoclimatique ainsi que l'évolution de la couverture pédologique, applicable à tous types de sols (naturels et fortement anthropisés) (Dagois, 2015).

VI.1.4. Le transfert de la démarche d'évaluation des potentialités des sols urbains d'un site de projet à l'échelle d'une aire urbaine

La démarche de détermination des potentialités des sols urbains a été développée en vue de considérer leur qualité à l'échelle d'une parcelle urbaine, voire d'un ilot. Cependant, la fabrique urbaine, si elle trouve des réponses *via* le développement de projets urbains à l'échelle de la parcelle, considère également des territoires plus vastes (*e.g.* unité urbaine, aire urbaine, département, région, pays). A ce titre, et dans un objectif d'un aménagement durable du territoire, cette considération des potentialités des sols à grande échelle peut-elle être traduite à plus petite échelle, à l'instar des aires urbaines ? Selon quelles méthodologies ? Quelles en seraient alors les incidences sur le développement d'une aire urbaine ?

L'adaptation des méthodes de description et d'échantillonnage au changement d'échelle

Si la méthodologie développée a su avancer des premières pistes d'appréhension de l'hétérogénéité des sols à l'échelle d'un site de projet, il va s'en dire que le principal enjeu scientifique relatif à la détermination des potentialités des sols à l'échelle d'une aire urbaine s'avère être la mise au point d'une ou plusieurs méthodologies d'échantillonnage capables, elles aussi, de considérer l'extrême hétérogénéité des sols à cette plus large échelle.

*Pour ce faire, plusieurs pistes de réflexions peuvent d'ores et déjà être avancées. Tout d'abord, déterminer les potentialités des sols urbains à l'échelle d'une aire urbaine peut être fait en multipliant, au sein du périmètre de l'aire urbaine, l'ouverture de fosses pédologiques. Cette méthodologie peut être effectuée en considérant une grille d'échantillonnage, à l'instar de ce qui a été fait pour le RMQS (Gis Sol, 2011), permettant la description et l'échantillonnage de plusieurs profils de sols au sein d'une même aire urbaine. Au fur et à mesure du temps, le nombre de fosses pédologiques ouvertes, décrites et échantillonnées augmentant, les potentialités de la plupart des sols de l'aire urbaine pourront ainsi être déterminées. Si cette méthodologie induit un coût financier (*e.g. *matériel de terrain, analyses de sol) et un travail de terrain et en laboratoire conséquents, ces contraintes pourraient être légèrement diminuées en tirant profit des chantiers relatifs au développement de l'aire urbaine. En effet, quotidiennement, de nombreux travaux sur les sols (*e.g. *chantiers de construction d'immeubles ou de voiries, travaux sur les réseaux d'eau,*

*de gaz ou d'électricité) sont réalisés à plusieurs endroits au sein d'une aire urbaine. Ces travaux offriraient la possibilité pour les pédologues de décrire un profil de sol en trois dimensions et d'en échantillonner quelques horizons. Cette première méthodologie nécessiterait alors d'avoir une convention avec les collectivités territoriales (*e.g. *villes, agglomérations, régions, départements), entités mandatrices de ces travaux, afin qu'un ou plusieurs pédologues urbains puissent intervenir « en routine » sur les chantiers de l'aire urbaine. Une deuxième méthodologie relative à la détermination des potentialités des sols à l'échelle d'une aire urbaine pourrait être la constitution d'une base de données unique synthétisant l'ensemble des informations relatives aux sols collectées par plusieurs entités au sein d'une même aire urbaine. Ce travail de compilation de bases de données a été amorcé au cours de ce doctorat et de celui d'A. Cambou. Au regard des contraintes temporelles surtout, ce travail n'a pas été entièrement formalisé, mais a montré des débuts prometteurs, tenant compte du fait que de nombreuses collectivités territoriales, notamment leur service espaces verts, détiennent des résultats d'analyses de sols. Ainsi, un effort supplémentaire pourrait rendre possible la constitution d'une base de données synthétisant l'ensemble des informations acquises sur les sols urbains par les collectivités territoriales, ou encore les laboratoires de recherche. Cette méthodologie nécessiterait la définition d'une convention d'utilisation de données entre l'entité synthétisant les données et les différents partenaires jusqu'alors détenteurs de ces données, afin de régulariser l'ensemble des enjeux relatifs à la notion de propriété intellectuelle. Il se peut cependant que certains sols de l'aire urbaine n'aient pas été échantillonnés par ces différents partenaires, ou qu'il manque des données (*e.g. MV_{app}, C_{org}, N_{tot}*) sur certains échantillons de sols. Cette méthodologie nécessiterait alors des interventions sur le terrain pour compléter les données acquises lors de la constitution de la base de données. Enfin, une troisième méthodologie de détermination des potentialités des sols urbains peut consister, à l'instar de ce qui a été proposé à l'échelle du site de projet, à la détermination de zones de sols jugés homogènes, permettant alors l'ouverture, la description et l'échantillonnage de profils de sol au sein de ces zones. Cependant, compte tenu de la diversité des changements d'usage dont font l'objet les sols urbains (pas de temps plus ou moins long entre deux changements d'usages, successions de couvertures différentes entre deux sols), la mise en exergue de zone de sols homogènes s'avère, de prime abord, complexe. Une manière d'y parvenir serait alors de considérer l'ensemble des informations relatives aux sols (*e.g. *géologie, hydrogéologie, pollution, écologie, urbanisation) et d'en faire une étude historique. A partir d'un travail en bureau, il pourrait alors être possible de définir des typologies de successions d'occupation du sol, renseignant alors sur l'état des sols urbains. Il peut être imaginé qu'un effort supplémentaire de description et d'échantillonnage de sols pourrait être réalisé au sein de zones où les successions d'usages ont été les plus « modificatrices » de l'état initial des sols urbains. A ce titre, il pourrait être fait l'hypothèse que les sols des unités urbaines nécessiteront davantage d'interventions de terrain*

que ceux des communes périphériques. A partir des résultats d'analyses bio-physio-chimiques réalisées sur ces échantillons de sol, il sera alors nécessaire de développer des modèles permettant de faire une extrapolation de l'état de ces sols à l'ensemble des sols de l'aire urbaine.

Déterminer les potentialités des sols à l'échelle de l'aire urbaine permettra de constituer une ou plusieurs bases de données relatives à la qualité bio-physico-chimiques des sols urbains, à l'instar de ce qui a été fait dans le cadre du RMQS (Gis Sol, 2011). Il pourra alors être possible de renforcer les travaux relatifs à la connaissance des sols urbains, en comparant les indicateurs d'état de la base de données RMQSU avec ceux de la base de données RMQS.

*Cette comparaison des données nécessiterait néanmoins une homogénéité dans les indicateurs à évaluer et donc un travail co-construit entre des partenaires de l' « urbain » et des partenaires des territoires « agricoles ». Pour le domaine agricole, c'est souvent les chambres d'agriculture qui disposent de données pédologiques. Il pourrait alors être intéressant de réfléchir à la nécessité de développer une telle structure pour le milieu urbain. Cette « chambre d'urbanité » pourrait être le lieu de compilation de toutes les données acquises par différents partenaires (*e.g. *collectivités, chercheurs, particuliers) relatives aux potentialités des sols urbains.*

Le recours à la cartographie comme représentation des différentes informations relatives aux potentialités des sols urbains

Dans le contexte agricole ou forestier, les données sur les sols sont souvent utilisées pour établir des cartes (Gis Sol, 2011). Généralement, ces cartographies permettent de représenter un paramètre uniquement (*e.g.* pH, zinc, cuivre). Cette représentation cartographique permet alors de représenter l'état de la qualité des sols, dans le but que la connaissance de ce système puisse être appréhendée par la majorité du grand public et qu'elle serve à en améliorer la gestion. A ce sujet, le travail mené a mis en exergue le fait qu'il existait peu de cartographies représentant ces mêmes indicateurs d'état et relatives au contexte urbain. Ceci peut résulter (i) d'un manque d'évaluation des indicateurs d'état des sols urbains ainsi que (ii) d'une non adaptation des seules données disponibles pour la constitution de cartes de sol aux échelles requises. Certaines recherches vont cependant dans ce sens. A ce titre, le projet UqualiSol-ZU (Gessol, ADEME) peut être cité, considérant le fait qu'il a permis de fournir des cartographies de la multifonctionnalité des sols pour deux communes du Sud Est de la France (Keller *et al.*, 2012).

Au sujet du manque de données relatives aux indicateurs d'état des sols urbains, les efforts d'échantillonnage décrits ci-dessus permettraient d'avoir une connaissance globale de ce système à l'échelle d'une aire urbaine. La vraie question est alors relative aux types de données à représenter sur la carte. A l'instar des cartes des sols agricoles, il serait intéressant

*que les représentations cartographiques des sols urbains renseignent sur l'état de la qualité de ce système à un instant donné, en cartographiant un indicateur à la fois (*e.g. *pH, MV_{app}, C_{org}, fraction grossière, classe de sols). En tenant compte de l'outil Destisol, les cartographies pourraient également représenter une fonction du sol (*e.g. *stockage de carbone, fertilité physico-chimique, infiltration de l'eau) ou encore un service écosystémique (*e.g. *régulation du climat global, production de biomasse, régulation des aléas naturels) (Burkhard et Maes, 2017 ; Grêt-Regamey* et al.*, 2015). Les cartographies relatives à l'état des sols urbains pourraient également représenter plusieurs critères sur une même carte (système d'information géographique). Cette approche multicritères permettrait alors de représenter la multifonctionnalité des sols urbains, c'est-à-dire leurs réponses à plusieurs fonctions ou services écosystémiques. Enfin, la cartographie pourrait également porter sur la représentation des volumes (m^3) de sols fonctionnels d'une aire urbaine selon son nombre d'habitants, à l'instar de ce qui est représenté sur les cartes de densité urbaine (habitants.m^{-2}).*

*Il serait alors intéressant de mettre en exergue quelles seraient les cartes relatives aux potentialités des sols urbains attendues, par quel type de public (*e.g. *fabrique urbaine, écologie, associations, grand public) et pour quelle sorte d'utilisation (*e.g. *aide à la décision pour la fabrique urbaine, aide à la gestion des sols de jardins et d'espaces verts urbains). Au sujet de la non adaptation des données pour la cartographie de sols, il serait intéressant que les futurs travaux mettent en exergue les échelles de cartographies à considérer en priorité. A ce titre, des premières pistes de réflexion peuvent être avancées, considérant que si ces cartes de sols sont utilisées pour l'aménagement du territoire, alors les échelles requises seraient notamment celles de l'unité urbaine (1/5 000) ou de l'intercommunalité (1/50 000). Cependant, l'échelle de représentation d'un ou plusieurs indicateurs a une incidence sur la stratégie développée pour l'évaluation de cet indicateur. Les futurs travaux relatifs à ces problématiques pourront alors apporter des réponses quant aux stratégies à mettre en place et aux besoins d'acquisition des données selon l'échelle de représentation requise.*

Ces cartographies permettraient de représenter par un moyen facilement appréhendable une ou plusieurs informations relatives au système étudié. Cependant, les sols urbains ne sont pas un système statique dans le temps. Or, la cartographie est un mode de représentation qui ne tient pas compte de ce caractère dynamique.

*A ce titre, il serait intéressant de réfléchir à une manière de représenter les informations relatives aux potentialités des sols urbains qui (i) soit facilement appréhendable par les différents acteurs et (ii) considère le caractère extrêmement évolutif de ce système. Une des réponses pourrait être la nécessité de produire ces cartes de potentialités des sols à un pas de temps défini (*e.g. *tous les ans, les cinq ans, les dix ans). Pour aller plus loin que cette succession*

de représentations à pas de temps définis, une autre idée pourrait être de combiner des mesures d'indicateurs d'état des sols urbains ou des valeurs de services écosystémiques avec des techniques informatiques, qui permettent d'intégrer la quatrième dimension temporelle (Klein et al.*, 2017). En effet, en reprenant l'exemple d'un réseau de lysimètres installés sur des zones de sols représentatives d'une aire urbaine, il pourrait être développé un système informatique permettant d'analyser les résultats des mesures faites* in situ *ou des niveaux de services écosystémiques et d'intégrer directement l'évolution de ces données sur la carte numérique. Ceci induirait la nécessité de paramétrer l'outil pour qu'à un intervalle de pH ou d'un service écosystémique par exemple, corresponde une couleur de légende unique. Ainsi, les cartes numériques seraient mises à jour quotidiennement, à chaque mesure faite par les capteurs lysimétriques.*

Les incidences d'une considération des potentialités des sols à l'échelle de l'aire urbaine sur l'aménagement du territoire

Au même titre que l'information sur les potentialités des sols d'un site de projet permet d'orienter la localisation des différents éléments de programmation, l'information relative aux potentialités des sols urbains, agricoles et forestiers pourrait aider les professionnels de l'aménagement du territoire dans l'élaboration de leurs stratégies de développement des aires urbaines. Par exemple, la réalisation ou le développement d'un document d'urbanisme repose généralement sur une lecture multicritères du territoire d'étude, qui permet ensuite aux acteurs de l'aménagement du territoire de disposer d'assez d'éléments de connaissance en vue (i) d'assigner à certaines portions du territoire des usages et objectifs d'aménagement les moins impactant pour l'environnement, et (ii) d'évaluer l'impact sur l'environnement quand l'aménagement est indispensable. La cartographie de la multifonctionnalité des sols urbains pourrait ainsi participer à la réflexion des acteurs de l'aménagement du territoire quant aux espaces à densifier en priorité et donc aux zones à ouvrir à l'urbanisation. A une échelle plus restreinte, cette cartographie participerait au choix d'un terrain de l'aire urbaine à mobiliser en vue de la réalisation d'un projet d'aménagement dont les objectifs sont déjà connus. A ce sujet, il est intéressant de citer l'incidence de la méthode des sociotopes sur la planification territoriale. Cette méthode a été créée en Suède par Alexander Ståhle, à la fin des années 1990, dans le but de décrire l' « espace en plein air », aussi appelé « espace extérieur » pratiqué par les habitants pour permettre à la planification territoriale de considérer les besoins essentiels des habitants et de développer des villes denses tout en augmentant la quantité et la qualité des espaces ouverts (trame verte et bleue). Utilisée dans le cadre du schéma directeur de Stockholm en 2000, la méthode des sociotopes a permis de produire des cartes représentant les espaces perçus et vécus pour les activités de plein air et les loisirs en tant que noyaux de vie sociale. Sur cette carte, sont également indiqué

les espaces ayant fonction de corridors écologiques, et les cheminements satisfaisants et à améliorer pour relier ces espaces. Cette cartographie des sociotopes a alors servi d'outil de planification urbaine et comme aide à la décision pour planifier l'affectation des terrains à des jardins ou des espaces publics, le développement des surfaces vertes et des espaces ouverts ainsi que pour définir les priorités en matière d'entretien. Depuis cette année-là, la méthode des sociotopes a été mise en œuvre dans de nombreuses communes de Suède (*e.g.* Göteborg, Uppsala, Malmö) et l'expérience de Stockholm a permis la rédaction d'un ouvrage : le manuel des sociotopes (Nordström *et al.*, 2003). Depuis 2010, elle est utilisée comme outil d'aide à la décision en France, notamment dans la commune de Plœmeur (Pays de Lorient).

*Il s'avère que d'autres démarches innovantes de la sorte ont également été développées afin que certains paramètres, jugés importants pour la fabrique urbaine, soient considérés et participent pleinement aux stratégies de développement des aires urbaines. A ce titre, l'ensemble des connaissances avancées dans ce manuscrit sur les sols urbains, combinées à toutes celles qui ont été ou sont actuellement développées dans d'autres programmes de recherches, peuvent également susciter la création de démarches innovantes pouvant permettre la considération des potentialités des sols urbains comme éléments de réponse à plusieurs enjeux du développement urbain. Les potentialités des sols urbains pourraient ainsi participer à la prise de décision, au même titre que la biodiversité, l'économie, les attentes des habitants et usagers. La considération des sols urbains pourraient même parfois participer à faciliter la considération de ces paramètres, considérés aujourd'hui comme des critères induisant une stratégie d'aménagement spécifique. Par exemple, les connaissances des potentialités des sols pourront renseigner sur les potentiels de développement de la nature ou de liens sociaux entre futurs usagers. De plus, au même titre que l'intégration de la biodiversité dans les stratégies d'aménagement a parfois modifié les décisions d'aménagement et les développements urbains, la considération des potentialités des sols entrainerait peut-être un développement de territoires complètement différent de ce qu'il est actuellement. Pour certaines aires urbaines, la considération des potentialités des sols pourrait par exemple induire le développement d'une aire urbaine dense et compacte, comme il est actuellement privilégié dans les stratégies de développement de l'aménagement du territoire. Pour d'autres, la considération des potentialités des sols pourrait induire le développement d'une aire urbaine étalée, une ville-territoire (ville-diffuse), dont les pôles urbanisés seraient développés sur les sols les moins fonctionnels, entourés d'espaces ouverts (*e.g. agricole, espace vert, forestier) développés sur les sols les plus fonctionnels et reliés les uns aux autres par des corridors de mobilité. Ainsi, il serait intéressant de réfléchir à la manière dont l'intégration des potentialités des sols urbains dans les autres critères relatifs aux prises de décisions induirait un autre regard sur la ville diffuse et entrainerait de nouvelles formes d'aires*

urbaines. A ce titre, des premières pistes de réflexions sur la structure spatiale des aires urbaines, notamment des métropoles, ont déjà été engagées dans les travaux de Secchi et Vigano (2012).

VI.1.5. La traduction des informations sur les sols urbains dans la planification territoriale

La réglementation de la considération des potentialités des sols urbains : une nécessité ?

Les résultats de l'analyse lexicale des documents d'urbanisme avancent que pour les PLU étudiés, la considération du sol en tant que ressource est plus présente dans les sections non opposables aux tiers (*e.g.* rapport de présentation, PADD) que dans le règlement. De plus, les résultats de l'atelier tendent à souligner le nombre déjà élevé de contraintes réglementaires (*e.g.* eau, pollution, écologie) auxquelles les acteurs de la fabrique urbaine sont aujourd'hui confrontés. Enfin, les résultats des entretiens individuels réalisés avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel mettent en exergue le fait que la considération des potentialités des sols d'un site de projet urbain sera d'autant plus forte que les acteurs travaillant pour ce projet sont sensibilisés à une gestion raisonnée des sols urbains. L'ensemble de ces éléments de réflexion amène à se poser la question suivante : la considération des potentialités des sols urbains à l'échelle du projet urbain serait-elle plus qualitative si elle était obligatoire ?

*Il serait intéressant de mener une enquête nationale auprès des acteurs de la fabrique urbaine, afin de mettre en exergue si la considération des potentialités des sols urbains à l'échelle de l'aménagement du territoire gagnerait à être obligatoire ou aurait intérêt à relever d'une approche volontariste. Cette approche au cas par cas amène à réfléchir à l'intérêt de développer des approches suscitant l'intérêt des acteurs de l'urbanisme opérationnel à tendre vers une prise en compte de la qualité des sols urbains dans leurs réflexions. A ce titre, il peut être cité l'exemple du label EcoQuartier. La démarche EcoQuartier se base sur une charte recensant 20 engagements liés à l'émergence d'une nouvelle façon de concevoir et gérer la ville durablement (*e.g. *cadre de vie, développement territorial, environnement et climat). Décerné par le Ministère de la Cohésion des Territoires, ce label valorise les opérations exemplaires de développement durable qui répondent à ces différents engagements. L'attrait du label encourage alors les MOA à concevoir des projets urbains répondant à ces différents engagements. L'évaluation des potentialités des sols urbains et l'intégration des résultats dans les processus de développement d'un projet urbain pourraient ainsi être favorisées par la création d'un label relatif à la qualité agronomique des sols urbains. Cette démarche volontariste, n'étant de fait pas une contrainte supplémentaire du développement d'un projet urbain, pourrait inciter les acteurs de l'urbanisme opérationnel à développer une sensibilité plus importante aux services pouvant être rendus*

par les sols urbains sur un site de projet et à les encourager à avoir recours à une démarche d'évaluation des potentialités des sols urbains.

L'intégration des informations relatives aux potentialités des sols urbains dans les documents d'urbanisme

Au sujet de la considération volontariste des potentialités des sols urbains à l'échelle du site, les discussions de l'atelier tendent à souligner le fait que certains acteurs ne sont pas persuadés qu'une approche au cas par cas permette de tendre vers une gestion raisonnée des sols urbains. Selon eux, ce sujet doit être réglementé, donc imposé aux acteurs de l'urbanisme opérationnel.

Il serait alors intéressant de parvenir à comprendre de quelle manière, et surtout dans quel document d'urbanisme, les informations relatives aux potentialités des sols urbains gagneraient à être intégrées. Si cette recherche ne prétend pas pouvoir pleinement répondre à ces questions, au regard des résultats acquis, elle se propose d'avancer des premières pistes de réflexion à ce sujet. Tout d'abord, il semblerait que le PLU ne soit pas le document idéal pour intégrer cette prérogative relative aux sols urbains. Le règlement de ce document d'urbanisme est rigide, alimenté par les règles du code de l'urbanisme et n'a en aucun cas l'attention d'être un document de projet. A ce titre, les informations relatives aux potentialités des sols urbains pourraient être intégrées dans les OAP des PLU, qui sont des documents écrits ou graphiques faisant référence à un schéma d'aménagement. Cependant, l'échelle d'intervention des PLU peut paraitre trop restreinte pour considérer les potentialités des sols urbains en vue d'aiguiller le développement d'une aire urbaine. Ces informations gagneraient à être intégrées un cran plus haut dans la chaine des documents de la planification territoriale. A ce titre, si les documents tels que le SRCE ou SRCAE ont des prérogatives plus proches de sujets relatifs aux sols urbains que celles des PLU, ils ont une échelle d'intervention qui peut être jugée trop large pour traiter de l'affectation des sols d'une aire urbaine en considérant leurs potentialités. Le SCoT, document d'urbanisme qui instruit les orientations générales de l'organisation de l'espace ainsi que les équilibres à respecter entre développement urbain et les espaces naturels, agricoles et forestiers, parait donc avoir les prérogatives et l'échelle d'intervention idéales pour traiter de ce sujet. Cependant, il pourrait être considéré comme trop centré sur les potentialités des sols agricoles et forestiers, et pas assez lié aux réflexions relatives à l'affectation des sols anthropisés. Pour cette dernière raison, c'est finalement le PLUi qui pourrait paraitre comme étant le document idéal pour intégrer les informations relatives aux potentialités des sols urbains et encourager leur utilisation à l'échelle du projet urbain. Le PLUi est un document qui présente en quelque sorte les mêmes prérogatives que le PLU, c'est-à-dire l'affection des sols urbains, mais dont l'échelle d'intervention est celle de l'intercommunalité, comme celle du SCoT. Aussi, les cartographies des potentialités des sols agricoles, forestiers et anthropisés pourraient être intégrées

*dans le rapport de présentation du PLUi à travers l'état initial de l'environnement et pourraient ainsi servir à définir le PADD et fixer les stratégies retenues pour le développement du transport, de l'économie, des espaces urbains ou encore de la protection des espaces naturels. A ce titre il pourrait être envisagé que les périmètres correspondant aux sols urbains multifonctionnels soient inscrits comme espaces à vocation agricole ou forestière, quand ceux présentant les plus faibles potentialités soient alloués au développement des espaces anthropisés (*e.g. *infrastructures, bâtiments). Ensuite, le règlement du PLUi fixerait réglementairement ces orientations, comme c'est actuellement le cas. Enfin, au même titre que l'intégration de la biodiversité ne s'est pas traduite dans un seul document d'urbanisme, la considération des sols en général en tant que ressource fonctionnelle doit s'intégrer dans une succession de documents d'urbanisme. Si le PLUi peut alors constituer le principal document de cette considération, les éléments de connaissance sur les potentialités des sols pourraient faire partie intégrante du SRCE, en constituant, en plus de la trame verte et bleue, la trame « brune ».Les continuités écologiques, présentées dans ce document d'urbanisme, pourraient alors au fur et à mesure intégrer, en plus de l'écosystème aquatique et de la végétation, les potentialités des sols urbains relatifs à l'habitat pour la biodiversité. Cet élément traduit à large échelle serait ensuite décliné à l'échelle du SCoT et réglementé à celle du PLUi. Enfin, le PLU serait le document permettant de traduire à la plus fine échelle l'ensemble de ces orientations d'aménagement qui prennent en compte les potentialités des sols urbains. Il est également à noter que ces informations sur la qualité des sols pourraient être intégrées dans le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), confié aux régions par la loi du 7 août 2015 portant Nouvelle organisation territoriale de la République (NOTRe). Ce schéma n'est pas un document d'urbanisme, mais revêt un caractère transversal, le rendant très intéressant pour intégrer les informations sur la multifonctionnalité des sols à grande échelle.*

Vers la rédaction d'un nouveau document de planification territoriale ?

L'ensemble de ces réflexions amène à s'interroger sur le rôle des documents d'urbanisme dans la considération des enjeux urbains. Si ces documents ont toujours fait l'effort d'associer une liste exhaustive d'enjeux à considérer et une capacité de synthèse (Ducos, 2017), sont-ils aptes à traiter de tous les sujets, y compris celui relatif aux potentialités des sols urbains comme outil d'aide à la décision pour l'urbanisme de projet ? Les résultats de l'atelier organisé avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel tendent à démontrer qu'il existe aujourd'hui de nombreux enjeux urbains pris en compte lors du développement d'un projet urbain, et impensés, donc non réglementés, dans les documents de planification. A titre d'exemple, les acteurs invités lors de l'atelier citent comme angle mort de l'aménagement du territoire l'évolutivité des projets urbains, et notamment celle des friches commerciales et des quartiers pavillonnaires. Aujourd'hui, les réflexions à l'échelle opérationnelle permettent

le développement de ces projets urbains, mais l'évolution de ces espaces et les potentialités qu'ils offriront, ou non, d'ici une vingtaine d'années par exemple, ne sont pas considérés dans la planification territoriale.

A ce titre, il pourrait être envisagé que la considération des potentialités des sols, tout comme celle de nombreux autres angles morts de l'aménagement du territoire, ne soient pas intégrés dans un document de planification territoriale déjà existant, mais permettent la création d'un nouveau document de la fabrique urbaine. Ce document s'engagerait à traiter de sujets qui soient réellement à l'interface de l'urbanisme opérationnel et de l'aménagement du territoire. Il ne s'agira donc pas d'un document de planification ni d'un document opérationnel, mais une sorte d'entre deux, permettant de trouver un équilibre global et un dialogue entre ces deux échelles de la fabrique urbaine, jonglant entre des approches top-down (la planification territoriale induit l'urbanisme opérationnel) et bottom-up (l'urbanisme opérationnel garantie la planification territoriale). Pour se faire, la rédaction de ce document pourrait être réalisée par un consortium d'experts interdisciplinaire (science du sol, sciences humaines et sociales, sciences économiques) et mêlant obligatoirement des acteurs du monde de l'aménagement et ceux de l'urbanisme opérationnel. Son échelle d'étude de ce nouveau document d'urbanisme sera celle de l'intercommunalité, compte tenu de la nécessité de considérer les potentialités des sols à une échelle dépassant le simple contour communal. Enfin, au regard de la nécessité de traduire cette considération à plusieurs échelles, ce document devra établir des rapports de compatibilité avec le SRCE, le SCOT ainsi que le PLU et le PLUi.

VI.1.6. Les potentialités des systèmes « naturels » versus « artificiels » pour répondre aux défis environnementaux

Les recherches menées sont relatives aux potentialités des sols urbains, et ont souvent questionné la qualité des sols anthropisés par rapport à celle des sols plus naturels. Si ces démarches ont notamment permis d'améliorer les connaissances acquises sur les sols urbains et d'encourager l'intégration de leurs potentialités dans les stratégies de la fabrique urbaine, elles amènent à réfléchir à l'existante opposition entre le naturel et l'anthropisé (modifié par les sociétés humaines), et plus fortement encore entre le naturel et l'artificiel (créé par les sociétés humaines) (Tinland, 1991) : en vue d'une recherche de durabilité (*e.g.* protection de l'environnement, équilibre économique et égalité sociale), un système artificiel est-il plus efficace qu'un système naturel ? Si cette section de discussion générale ne s'attache pas à donner une réponse formelle à cette interrogation, il s'avère que certains résultats de ce doctorat apportent leur pierre à l'édifice.

Depuis de nombreuses années maintenant, il s'avère que les sociétés humaines mettent au point des techniques artificielles permettant de suppléer un service naturel, c'est-à-dire naturellement rendu par un système (*e.g.* développement du génie écologique, pédologique, végétal). A titre d'exemple, l'hydroponie, qui consiste à cultiver des plantes sur un substrat neutre pour accélérer le processus de maturation de leurs fruits et ainsi permettre plusieurs récoltes par an, a été développée dans le but de pouvoir nourrir de plus en plus d'individus. De plus, la mairie de Paris va prochainement tester dans le 14ème arrondissement de la capitale, une colonne Morris remplie de micro-algues en vue de piéger une partie du CO_2 de l'air. Ce puit de carbone, totalement artificiel, permettrait de fixer une tonne de CO_2 par an, ce qui correspondrait à ce que fixent une centaine d'arbres plantés en ville pendant le même laps de temps. Ces exemples permettent de rendre compte que le développement de systèmes artificiels est fréquemment réalisé pour répondre à un seul service environnemental, économique ou social (*e.g.* production alimentaire, régulation du climat global et local). Par comparaison, les systèmes naturels s'avèrent davantage multifonctionnels, comme le montrent par exemple les résultats de ce travail de recherche. Il peut alors être avancé que le développement d'un système artificiel permettra de répondre à un très haut niveau à un service en particulier considérant le fait qu'il a été créé dans cet objectif, tandis que la gestion d'un système naturel permettra, sans doute, de produire des services à un niveau plus faible, mais en plus grande quantité. Cette idée a été développée dans l'article de Braat et De Groot (2012), en prenant l'exemple du service de production alimentaire rendu par différents espaces dont la gestion diffère (Figure 109). Il apparait alors que le service de production alimentaire est à son maximum pour l'espace géré de manière intensive, c'est-à-dire pour l'espace qui a été géré en vue d'une production d'aliments. Pour ce système, les courbes mettent en évidence qu'il présente en effet un bon niveau de réponse pour le service de production alimentaire, mais que son niveau de réponse pour les autres services considérés (*e.g.* régulation, culturels) est très faible. Par comparaison, il apparait que l'espace qui a subi la plus faible gestion est celui qui apporte une réponse à haut niveau pour l'ensemble des services considérés. De plus, il s'avère que les systèmes qui fournissent un service unique entrainent une réponse négative à plusieurs autres services écosystémiques (Pesson, 1978). Pour reprendre l'exemple de Braat et De Groot (2012), il s'avère en effet qu'une augmentation de la gestion des sols en vue d'une production alimentaire contribue à une érosion de la biodiversité. Pour revenir au sujet de ce doctorat, ces éléments de réflexion amènent à s'interroger sur les potentialités des sols construits ou reconstitués à répondre aux enjeux de la ville durable et donc à l'intérêt d'avoir recours au génie pédologique pour le développement de villes durables. Dans la littérature, certains travaux permettent d'apporter de nombreux éléments

de connaissance quant au fonctionnement et aux potentialités des sols issus du génie pédologique (Schwartz *et al.*, 2005 ; Séré, 2007 ; Séré *et al.*, 2010).

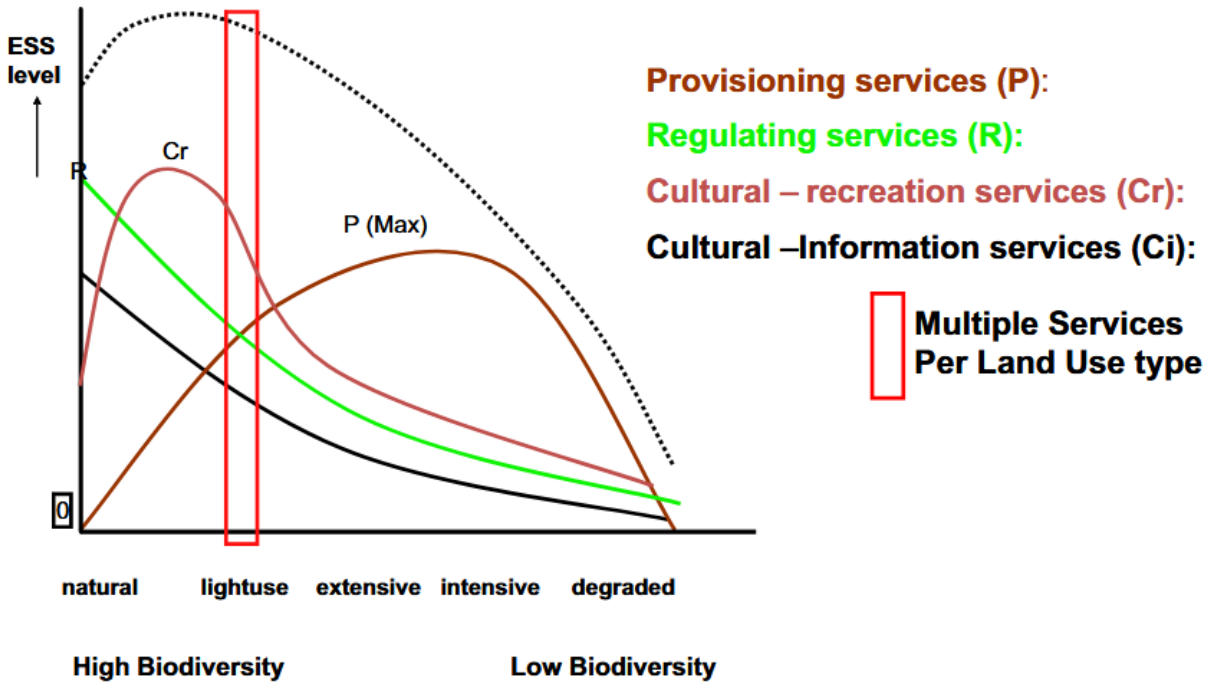


Figure 109 : Usage du sol et services écosystémiques, *Braat et De Groot, 2012*

Il serait intéressant de poursuivre ces recherches, notamment dans le but de mettre en exergue la différence de réponse aux services écosystémiques relatifs à la fabrique urbaine entre un sol urbain « naturel » et un sol construit. Cela permettra également de comprendre quels seraient les services écosystémiques « négatifs » (dys-services) de ce système construit, qui existent sans doute bien que les recherches tendent vers la constitution d'écosystèmes multifonctionnels. En effet, jusqu'alors, les recherches relatives à l'évaluation des services écosystémiques s'attachent à évaluer les services écosystémiques effectivement rendus par les sols urbains, mais ne proposent pas de méthodologie quant à l'évaluation de services écosystémiques rendus de manière négative. De plus, ces recherches pourraient permettre de dresser un bilan financier quant aux dépenses nécessaires pour (i) la création d'un sol construit et (ii) la gestion des sols urbains en vue de l'obtention d'un même niveau de services écosystémiques. Une hypothèse pourrait être de dire que le recours au génie pédologique, s'il s'avère peu coûteux, sera tout de même plus onéreux qu'une gestion raisonnée des sols naturellement en place, sauf dans le cas d'une pollution accrue de ces derniers et qui nécessiterait une mise en décharge d'un important volume de terres. In fine, *ces travaux permettront sûrement d'apporter de nouveaux éléments de connaissance relatifs aux sols urbains pouvant être appréhendés par les acteurs de la fabrique urbaine et leur permettant de faire un choix entre la construction d'un sol artificiel ou la gestion raisonnée des sols urbains déjà en place. A ce titre, s'il est évident que l'évolution des enjeux planétaires entraine*

*indéniablement le besoin d'avoir recours à la création de systèmes artificiels (*e.g. *sols construits, cultures en hydroponie, toits potagers), ces recherches permettront sans doute de participer à sensibiliser les acteurs de la fabrique urbaine, mais également les élus et le grand public quant à une gestion raisonnée des sols sur la planète.*

VI.2. Discussion générale à portée opérationnelle

Les entretiens individuels ainsi que les 2 jours d'atelier réalisés avec les professionnels de l'urbanisme opérationnel permettent de formuler des retours sur les intérêts et les possibles pistes d'amélioration de l'OAD Destisol. Plus généralement, il est possible de mettre en évidence certaines préconisations, énoncées par ces acteurs eux-mêmes, relatives à la mise en place d'une démarche d'évaluation des potentialités des sols urbains afin qu'elle puisse être pleinement intégrée aux stratégies de développement d'un projet urbain.

VI.2.1. Les retours et perceptions des acteurs de l'urbanisme opérationnel sur l'OAD Destisol

Au cours de l'atelier et des entretiens individuels, les acteurs de l'urbanisme opérationnel, quelle que soit leur aire urbaine d'intervention (*e.g.* MGN, MAMP, NM) et leur métier (*e.g.* MOA, MOE, AMO), étaient agréablement surpris des intérêts que peut offrir l'OAD Destisol pour l'aménagement d'un site de projet urbain. Ils ont tout d'abord apprécié le fait que cet outil puisse leur permettre de considérer l'hétérogénéité des sols urbains sur un périmètre de site de projet[33]. Cet aspect était selon eux essentiel, considérant le fait que ce caractère hétérogène des sols leur pose généralement d'importantes contraintes (*e.g.* financières, temporelles) lors du développement d'un projet urbain. Aussi, l'utilisation de l'OAD leur permettrait de se soustraire de ces imprévus généralement causées par les sols urbains, et plus encore par les plus fortement anthropisés d'entre eux. Ensuite, les acteurs ont souligné l'intérêt de l'outil à formuler des pourcentages de compatibilité avec différentes couvertures et à prédire les niveaux de services écosystémiques que chaque sol du site est capable de fournir. Selon eux, cela leur permettrait d'avoir une connaissance intégrale et approfondie de ce système, et de pouvoir apporter très rapidement des éléments de réponse à de nombreux enjeux jugés prioritaires lors du développement d'un projet urbain[34]. Les acteurs soulignaient en effet le fait que l'OAD Destisol apporte des éléments de connaissance quant à (i) la capacité d'infiltration des eaux dans les sols[35], (ii) le niveau de contamination des sols[36] ou encore (iii) l'aptitude des sols à accueillir une végétation[37]. Ces différentes informations leurs seraient utiles pour juger (i) des installations et méthodes de récupération des eaux à mettre en place (*e.g.* récupération à la parcelle, noues), (ii) du traitement des terres pollués

(*e.g.* sur site, hors site) et (iii) du temps et du coût des travaux nécessaires (*e.g.* amendement, labour) pour la mise en œuvre d'un espace vert ou d'un jardin partagé.

> [34]**MOE - MAMP** : si j'arrive sur un site de projet et qu'on me dit là ça pousse bien et là ça pousse pas bien, et bien c'est super ! Ça facilite la vie. Les contraintes sont moindres.
> [35]**MOA - MAMP** : cela pourrait être utile pour déterminer en amont la capacité des sols à infiltrer l'eau, pour comprendre comment l'eau chemine et comment le sol est capable ou non de l'intégrer.
> [36]**MOE - MGN** : moi je dirai que ce serait essentiel pour estimer le coût de mise en décharge ! Il est tellement important aujourd'hui, que l'on doit faire travailler la matière grise pour essayer de ne pas excaver. C'est une charge lourde.
> [37]**MOA – MAMP** : l'essentiel pour moi ça serait de comprendre quoi planter en fonction du type de sol en présence.

Lors de l'atelier, les acteurs de l'urbanisme opérationnel se sont pleinement saisis du fonctionnement de l'OAD Destisol. Ils ont notamment compris que cet outil était capable de les informer des moyens financiers et humains nécessaires pour améliorer le sol (*e.g.* amendement, décaissement) afin que ses potentialités puissent répondre aux usages attendus. Dépassant cette vision de « réduction des contraintes », ces acteurs ont également perçus l'intérêt de l'outil pour formuler des propositions relatives à l'amélioration des éléments de programmation. En mettant en évidence les services écosystémiques rendus par les sols, l'outil est également capable de souligner le fait qu'une programmation urbaine n'exploite pas pleinement les potentialités des sols en place. Dans ce cas, la programmation pourrait être revue à la hausse afin d'aboutir à une augmentation du niveau de services écosystémiques offerts par le projet.

L'atelier sur les sols urbains a alors été l'occasion de demander aux acteurs de l'urbanisme opérationnel si, afin d'optimiser les potentialités des sols urbains en termes de services écosystémiques au regard des usages attendus par le projet urbain, il serait pertinent de réfléchir à la possibilité de traduire les éléments de la programmation urbaine en services écosystémiques. Certains acteurs de l'urbanisme opérationnel ont jugé cette idée optimale pour encourager une gestion raisonnée des sols urbains et faciliter les comparaisons entre leurs potentialités et les éléments de la programmation[38]. A l'inverse, d'autres ont avancé le fait que cette démarche s'avérait encore trop complexe pour le moment, et qu'ils ne disposaient pas des compétences requises pour la mener à bien[39]. D'autres acteurs encore ont considéré que la logique de traduction des éléments de programmation en niveaux de services écosystémiques serait limitée, notamment à cause du fait que l'aménagement d'un site de projet urbain intègre un certain nombre de prescriptions qui ne pourront être, selon eux, traduites en termes de services écosystémiques rendus par les sols[40]. A ce titre, le principal enjeu serait de réfléchir à l'intégration d'autres compartiments de l'écosystème

que le sol, tels que l'air, les eaux souterraines et superficielles, la biodiversité, voire même les futurs habitants et usagers du site de projet. Cette démarche intégrée permettrait peut-être de traduire l'ensemble des prescriptions de l'urbanisme opérationnel en services écosystémiques, et pourra être réalisée par un travail co-construit entre spécialistes des sciences du sol et acteurs de la fabrique urbaine, afin de lister l'ensemble des prescriptions urbaines et leur traduction en services écosystémiques.

[38]**MOA - MAMP** : ce serait idéal de pouvoir traduire les éléments de programmation en termes de services écosystémiques, mais dépend des services écosystémiques.
[39]**MOA - MAMP** : pour traduire les éléments de programmation en niveaux de services, il faut obligatoirement avoir les compétences présentes dans l'équipe.
[40]**MOE - MAMP** : non car il existe plein de prescriptions de la composition urbaine que les services écosystémiques ne traduisent pas.

La présentation de Destisol a également permis aux acteurs de l'urbanisme opérationnel de mettre en avant quelques potentielles pistes d'amélioration de cet OAD. En particulier, la manière de présenter les résultats de la compatibilité des sols avec les 9 couvertures testées par l'outil. Les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont en effet estimé que, même si les différentes étapes et les chiffres leur permettraient de comprendre totalement la manière dont fonctionne cet outil[41], le pourcentage de compatibilité des sols avec les couvertures ne devrait pas être exposé lors de la présentation des résultats. Selon eux, ce pourcentage pourrait en effet être mal interprété, s'il était considéré seul, notamment de la part des élus[42]. Aussi, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont souligné le fait qu'il serait plus intéressant de présenter les radars des services écosystémiques, qu'ils jugent nettement plus pédagogiques[43].

[41]**MOA - MAMP** : ce sont des étapes à ne pas manquer, car ça nous aide à comprendre le fonctionnement et la complexité de l'outil. Mais je ne pense pas que ces chiffres, notamment ceux de compatibilité des couvertures, doivent être présentés.
[42]**MOA - MAMP** : il serait sans doute dangereux d'utiliser les résultats de Destisol de manière partielle, notamment vis-à-vis des élus : il y a des choses à ne pas montrer dans certaines situations. Il faut donc adapter la présentation des résultats en fonction du public. C'est à nous, par la suite, de juger comment et à qui on présente les résultats de Destisol.
[43]**MOE - MAMP** : le pourcentage de compatibilité est très réducteur. Les radars des services écosystémiques permettent de montrer là où c'est plus et là où c'est moins, c'est nettement mieux !

VI.2.2. L'intégration d'une démarche d'évaluation des potentialités des sols urbains dans les processus de développement d'un projet urbain

<u>Une démarche sensiblement équivalente à celle d'une analyse géotechnique ou de la pollution</u>

Lors des entretiens individuels, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont montré une certaine inquiétude quant au temps et au coût nécessaires pour l'intégration d'une telle démarche d'évaluation des potentialités des sols urbains au cours du développement d'un projet urbain[44]. Cette inquiétude s'est vue dissipée au fur et à mesure des discussions. Les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont en effet constaté que (i) le rapport coût (de la démarche)-bénéfices (pour le projet) pouvait être positif[45] et (ii) qu'une démarche d'évaluation des potentialités des sols urbains pouvait finalement être équivalente à celles usuellement conduites lors de l'aménagement d'un site de projet urbain (*e.g.* diagnostic de contamination, évaluation des propriétés géomécaniques), ne rajoutant ainsi pas de dépenses économiques considérables[46]. Ils ont exprimé le fait que l'intégration d'une telle démarche leur permettrait de se soustraire à de nombreuses déconvenues causées par les sols et qu'ils pourraient y gagner financièrement sur les étapes de gestion des espaces car cela permettrait sûrement aux écosystèmes d'être efficaces (fonctionnels) plus durablement. Les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont ainsi avancé être disposés à intégrer le coût de cette démarche d'évaluation des potentialités des sols dans les processus de développement d'un projet urbain. Cet argument s'est vu amplifié lors de l'atelier, quand les discussions avec les spécialistes des sciences du sol leur ont permis de comprendre qu'une description et un échantillonnage des sols sur site de projet, une analyse bio-physico-chimique en laboratoire et une utilisation d'un OAD en bureau ne nécessitait pas d'importants besoins financiers et pouvaient même être intégrées aux études géotechniques et de pollution des sols. La démarche mise en œuvre pour une évaluation des potentialités des sols nécessiterait en moyenne un à deux jours de recherche documentaire en bureau pour un ingénieur projet. Ensuite, l'étape terrain serait de l'ordre d'un à quatre jours de travail pour un ingénieur projet et un technicien, et pourrait être conduite avec des moyens matériels assez simples : pelle mécanique et matériel de prélèvement manuel. Si les coûts de l'intervention terrain ne seraient pas exorbitants, ils pourraient être réduits en considérant le fait que les échantillons de sols prélevés pour les analyses bio-physico-chimiques sont les mêmes que ceux étudiés pour les études de pollution. Il y aurait sûrement un intérêt économique à combiner ces démarches agronomiques, géomécaniques et de pollution, afin de limiter les interventions sur site et donc le coût des interventions. Ensuite, les analyses bio-physico-chimiques des échantillons nécessiteraient un travail en laboratoire d'environ trois jours pour un ingénieur projet. Enfin, l'exploitation des résultats de ces analyses et l'utilisation d'un OAD pourraient être réalisées avec un ordinateur et en un à deux jours de travail pour un ingénieur projet.

[44]**MOE - MAMP** : c'est un surcoût de connaitre le sol dans notre métier

[45]**MOA - MGN** : mais c'est pour ça que l'approche services écosystémiques est aussi intéressante, parce qu'elle montre quand se fait le retour sur investissement…

[46]**MOA - MGN** : ce serait des paramètres à rajouter, en revanche le coût n'en serait pas sensiblement changé.

Un apport de connaissances très en amont et tout au long du développement du projet urbain…

Au même titre que les informations sur le niveau de pollution des sols, leurs propriétés géotechniques, l'adaptation de la végétation et le réservoir de biodiversité du site de projet sont généralement appréhendées dès les phases amont du développement d'un projet urbain, les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont jugé le fait que les informations relatives aux potentialités des sols urbains devraient également être intégrées au préalable de toute réflexion[47]. Ces nouveaux éléments relatifs aux potentialités des sols pourraient avoir des impacts sur les choix d'aménagement du site, induisant le fait que leur connaissance devrait être acquise dès le départ, en vue d'orienter les stratégies d'aménagement[48]. Au regard de ce qui est actuellement fait pour les études d'impact environnemental, cette information sur les sols pourrait alors intervenir durant les études préalables, que sont les phases d'études d'avant-projet (*e.g.* avant-projet sommaire, avant-projet définitif).

[47]**MOE - MGN** : c'est au moment de la programmation que la vocation est donnée au sol, ces éléments sur les sols doivent donc intervenir en amont, pour réfléchir avec la contrainte.
[47]**MOA - MAMP** : ça dépend, par exemple moi je m'en sers pour requestionner un projet. Mais oui, il est donc utilisé en amont de la nouvelle réflexion.
[48]**MOE - NM** : on fait des schémas pour travailler avec les urbanistes, mais il faudrait des schémas qui disent « en amont, à la fin et entre les deux il faut faire ça ».

Cependant, conscients du caractère évolutif, dynamique et cyclique des sols urbains, et de leurs impacts sur les éléments de programmation, les professionnels de l'urbanisme opérationnel ont souligné l'intérêt à ce que les connaissances relatives aux potentialités des sols du site interviennent tout au long du d'un projet urbain[49].

[49]**MOA - MAMP** : la personne qui amène ces connaissances sur les sols doit avoir une forte mission en amont, mais doit également intervenir durant toute la vie du projet. Si le sol change, alors la programmation change aussi. C'est une matière vivante. Le cahier des charges doit être souple et intégrer cette compétence tout au long du projet.

… qui doit aider sans conditionner l'essence de la programmation d'un projet urbain

Selon les acteurs de l'urbanisme opérationnel, les informations relatives sur les potentialités des sols urbains, intégrées en amont du développement d'un projet urbain, devraient participer aux prises de décision quant aux stratégies d'aménagement du site de projet, sans pour autant les conditionner. A ce titre, ils seraient sensibles au fait qu'une telle démarche puisse, *in fine*, proposer différents scénarios d'aménagement[50], en faisant varier uniquement la localisation des usages des sols et donc les niveaux de services écosystémiques rendus par ces sols

et non pas les éléments de programmation définis en amont[51]. Selon eux, un OAD devrait, comme son nom l'indique, aider à la prise de décision. Ces informations complémentaires devraient alors permettre de construire une proposition méliorative respectant la contrainte économique, sans modifier drastiquement le programme d'aménagement[52].

> [50]**MOE - MGN** : C'est un OAD = possibilité de mettre en parallèle plusieurs scénarios.
> [51]**MOE - NM** : on peut raisonner à programme constant. On fait intervenir l'outil. Plusieurs propositions sont alors possibles.
> [52]**MOE - MAMP** : l'intérêt de l'outil est que le programme ne change pas, mais rend plus de services à la fin. Nous, dans une position de concepteur, ça peut avoir un rôle formidable. Dans notre métier, tout ce qui est technique peut être perçu comme une contrainte. Et là on est plus dans du qualitatif, dans du « il faut faire plus, mieux », dans du mélioratif. Ça permet de convaincre, d'adapter le projet tout en respectant la contrainte économique de base du projet.

Un équilibre à respecter entre les différents enjeux urbains

Les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont insisté sur le fait que les informations relatives aux potentialités des sols des sites de projets ne pourraient constituer le seul élément de décision d'un projet urbain[53]. Ces données devraient être utilement intégrées à l'ensemble des contraintes et enjeux urbains aujourd'hui pris en compte pour la définition d'un projet urbain[54]. Le sol devrait être un critère de l'aménagement d'un site, au même titre que la biodiversité, la gestion des eaux mais également la mobilité, l'économie ou encore l'égalité sociale.

> [53]**MOE - MGN** : le sol doit être un des critères qui permet l'aménagement, au même titre que les techniques de relief, etc.
> [54]**MOE - NM** : le sol est une donnée parmi tant d'autres.

Un nécessaire besoin d'accompagnement et de développement d'une nouvelle profession à l'interface des sciences du sol et de l'urbanisme opérationnel

Les acteurs de l'urbanisme opérationnel ont souligné le fait qu'ils ne disposaient pas en interne des compétences nécessaires pour considérer les potentialités des sols dans les stratégies d'aménagement à l'échelle d'un site de projet urbain[55]. Ils ont déjà eu l'occasion de travailler, au cours de leur carrière avec des spécialistes des sols (*e.g.* bureau d'étude, chambre d'agriculture, association, service espaces verts des collectivités territoriales)[56], mais ils ont insisté sur le fait que ces professionnels étaient spécialisés dans un domaine ou un service bien précis (*e.g.* capacité de portance des sols, fertilité des sols, pollution des sols, infiltration des eaux dans les sols) et n'embrassaient pas le sol en général, comme le permettrait une démarche intégrée d'évaluation des potentialité des sols urbains. Cela est d'ailleurs un des arguments qui permet d'expliquer qu'aujourd'hui la considération des enjeux relatifs à la question des sols lors d'un projet urbain est restreinte à l'étude de certains services

(*e.g.* géotechnique, pollution, infiltration) et ne considère pas, ou peu, les potentialités agronomiques des sols urbains[57].

> [55]**MOE - MAMP** : il n'existe personne sur le marché aujourd'hui qui propose de tels diagnostics et qui est capable d'intégrer les données sol aux processus d'aménagement.
> [56]**MOE - MGN** : il existe des BET spécialisés sur les sols, mais uniquement sur la géotechnique.
> [56]**Aménageur - MAMP** : je pense que les paysagistes sont également des professionnels sensibilisés à cette considération des services rendus par les sols !
> [57]**MOA - MAMP** : en tant que MOA, lorsque l'on fait une étude d'impact, on ne considère qu'une partie des enjeux relatifs aux sols, car on ne dispose pas de toutes les compétences pour avoir une considération totale des sols. Il n'existe aucun BET qui n'embrasse le sol en général.

Puisque, pour répondre aux enjeux d'une évaluation intégrée des potentialités des sols urbains, les professionnels de l'urbanisme opérationnel ne connaissent pas de prestataires, ils sont apparus convaincus que l'intégration de ces éléments de connaissance nécessiterait le besoin de développer une nouvelle profession, un nouveau champ disciplinaire, relatif à ces problématiques de fonctionnement et potentialités des sols urbains[58]. Ce besoin serait par ailleurs amplifié par l'évolution des enjeux du développement urbain (*e.g.* considération d'enjeux durables) et de la complexité croissante de la réalisation des projets urbains (*e.g.* reconstruction de la ville sur elle-même).

> [58]**Aménageur - MAMP** : en tant qu'aménageur, on a intérêt à intégrer de nouvelles compétences dans les cahiers des charges.

Cette approche innovante de l'urbanisme opérationnel nécessiterait ainsi le développement de compétences transverses en pédologie urbaine et urbanisme de projet urbain. Il apparaitrait alors nécessaire de développer des offres de formations autour de cette nouvelle profession. C'était d'ailleurs l'objectif des ateliers pédagogiques interdisciplinaires réalisés entre l'ENSAIA et l'ENSP/IAUR et l'ENSAIA et l'ENSAN, qui ont eu lieu au cours de ce doctorat. Ces ateliers ont traduit un véritable engouement de la part des étudiants. Eux qui sont les futurs acteurs de la ville de demain, ont pris conscience des multiples intérêts d'un côté d'appréhender le système sol dans la conception de projet et de l'autre de replacer le sol urbain dans l'aménagement la ville de demain.

Pour revenir à la nouvelle profession en elle-même, les acteurs de l'urbanisme de projets semblaient avoir du mal à s'accorder sur la place que devra avoir cette nouvelle compétence au sein du jeu d'acteurs déjà mis en place lors du développement d'un projet urbain. Pour certains acteurs, ce métier devrait faire partie intégrante des études urbaines[59]. Pour d'autres, cette compétence devrait être séparée des professionnels de la MOA, et devrait

plutôt être intégrée au sein des équipes de professionnels réalisant les études environnementales[60].

> [59]**MOE - NM** : il faut que ce soit un prestataire à l'intérieur des études urbaines, etc. Il ne peut pas être à part, séparé.
> [60]**MOA - MGN** : pour la MOA, c'est mieux que cela soit séparé. Les études environnementales sont bien séparées. Pour la MOA c'est mieux d'avoir des prestataires différents, qui ensuite échangent entre eux.

Tous s'entendaient néanmoins pour dire que les résultats d'une évaluation des potentialités des sols urbains devraient être adressés à l'entité responsable du projet urbain, c'est-à-dire à la MOA, afin que ces nouveaux éléments de connaissance participent pleinement à la dimension de l'arbitrage du projet[61].

> [61]**Aménageur - MGN** : il faut adresser les résultats à celui qui est à l'initiative opérationnelle. Cela peut être très variable : d'une communauté de communes à une grande collectivité. Mais ça doit être adressé au porteur de projet.
> [61]**MOA - MAMP** : à toute personne en position de décider !

La nécessité de développer un langage commun : l'efficacité du terme « service écosystémique » ?

Développer un nouveau champ disciplinaire à l'interface des sciences du sol et de l'urbanisme opérationnel ne pourrait se faire sans la création d'un langage commun, permettant une totale compréhension mutuelle de ces deux professions. Aussi, une des clefs de réussite du travail co-construit entre acteurs de l'urbanisme opérationnel et professionnels des sciences du sol serait la définition d'un champ lexical commun relatif aux potentialités des sols. Ceci permettrait de favoriser les dialogues et de réduire au maximum les sources d'incompréhension[62]. Pour ce doctorat, c'est la notion de « service écosystémique » qui a été utilisée, pour sensibiliser les professionnels de la fabrique urbaine aux potentialités offertes par les sols. Il s'avère que, dans une large mesure, ce terme a été bien appréhendé par les acteurs de projet. Ils ont avancé le fait que l'utilisation de cette notion permettrait de s'éloigner un peu de la complexité de la pédologie urbaine et des processus d'évolution et de fonctionnement des sols. Plus que cela, le point positif de cette notion serait que son utilisation permettrait de sensibiliser des publics très divers[63]. Un bémol cependant : si certains acteurs de l'urbanisme opérationnel ont jugé l'adjectif « écosystémique » idéal pour amener une « valeur scientifique » à la démarche, d'autres ont estimé que ce terme était trop complexe, et qu'il ne serait pas compris par les élus. Ceci pose alors une problématique relative à la sensibilisation de ces derniers : comment les convaincre de l'intérêt d'une démarche s'ils ne se sont pas pleinement imprégnés des éléments de langage qui y sont liés ? A ce titre, certains acteurs de l'urbanisme opérationnel ont avancé qu'il pourrait être intéressant de parler uniquement de « services rendus par les sols urbains », sans mentionné le concept

d'« écosystème »[64]. L'utilisation de ce terme unique de « service » serait (i) possible pour les pédologues, que relieront toujours son utilisation à l'écosystème « sol » et (ii) idéal pour les acteurs de la fabrique urbaine, sachant que ce terme fait échos à une notion intrinsèque à l'urbanisme opérationnel, qui est celle des « usages » (*e.g.* cheminements piétons, espaces verts publics, jardins privatifs)[65]. D'autres recherches, notamment celles menées par Poyat (2018), avancent cependant que l'utilisation du terme de « service écosystémique » est tout à fait envisageable, car bien appréhendé par les élus, pour sensibiliser ces derniers aux travaux menés par les pédologues.

> [62]**MOE - MAMP** : en tant que professionnel de l'aménagement, un vocabulaire non partagé avec les autres disciplines peut être source de contraintes. On doit réussir à construire un vocabulaire commun, pour que le sol devienne une opportunité.
> [63]**MOE - MAMP** : le terme de service écosystémique peut parler aux gens, aussi bien aux acteurs de l'aménagement qu'au grand public. On sort du technique, on raconte une histoire à des publics différents.
> [64]**MOA - MAMP** : le terme de « service écosystémique » est trop compliqué. On ne pourrait pas parler uniquement de service ? La notion d'écosystème est importante, mais elle est complexe et je ne saurai pas forcément bien l'expliquer, notamment lors d'une présentation avec un élu…
> [65]**Aménageur - MAMP** : ce qui revient beaucoup en urbanisme c'est la question des usages. Et là, ça recroise vraiment avec cette question.

De plus, en vue d'aller plus loin dans l'élaboration d'un vocabulaire commun entre fabrique et pédologie urbaines, il apparait essentiel à ce stade du manuscrit, de proposer une définition unique de « sol urbain ». Une telle définition ne doit pas simplement être une juxtaposition des plusieurs définitions empruntées à l'urbanisme et aux sciences du sol, mais faire consensus entre ces deux champs disciplinaires. Le sol urbain pourrait alors être défini comme : « un écosystème en trois dimensions (*i.e.* largeur, longueur, profondeur) localisé au sein d'une aire urbaine qui se caractérise par un niveau d'anthropisation très variable et hétérogène. En fonction de ses propriétés biologiques, physiques et chimiques, il permet de fournir à des niveaux plus ou moins élevés des services (*e.g.* régulation des inondations, régulation du climat, habitat pour la biodiversité, production de biomasse) relatifs à l'accueil de différents usages urbains (*e.g.* bâtiments, parking, espaces verts, jardins potagers) ».

Un nécessaire besoin de sensibilisation…

La nécessaire émergence d'une nouvelle profession à l'interface des sciences du sol et de l'urbanisme opérationnel irait de pair avec un incontournable temps d'adaptation de la discipline de projet urbain. L'intégration des informations relatives aux potentialités des sols urbains dans les stratégies d'aménagement d'un site, pourrait induire, dans les premiers temps, une plus grande complexité des processus de développement de projets urbains[66]. Pour y remédier, les acteurs de l'urbanisme opérationnel se sont accordés à dire qu'ils avaient besoin d'un temps de maturation, pour essayer (i) d'appréhender totalement cette nouvelle

problématique du développement urbain, (ii) d'intégrer pleinement les intérêts qu'ils trouveront à intégrer une telle démarche et (iii) de formaliser la place qu'occupera cette nouvelle profession dans le jeu d'acteurs déjà existant[67].

> [66]**MOE - MGN** : oui, mais l'intégration de nouvelles compétences complique encore plus les cahiers des charges, qui le sont déjà…
> [67]**Aménageur - MAMP** : oui, mais cela se réglera avec un temps de mutation que les professionnels de l'urbanisme doivent amorcer…
> [67]**MOE – MAMP** : si l'objectif est de transformer les pratiques de l'aménageur pour intégrer les sols dans les processus d'aménagement, alors ça va être difficile d'aller directement vers une stratégie de prise en compte. Il faut d'abord travailler sur la prise de conscience. Il faut donc une période intermédiaire. Et ce n'est pas forcément l'outil qui peut le faire.

… pouvant se faire par la mise en place de projets urbains pilotes

Ce temps de maturation pourrait permettre la mise en place de projets urbains pilotes, intégrant pleinement la considération des potentialités des sols urbains, et plus largement des écosystèmes urbains, en s'associant avec des professionnels de l'urbanisme opérationnel déjà sensibilisés à cette démarche. La mise en place de ces projets pilotes pourrait se faire au sein d'aires urbaines différentes et concerner diverses situations de projet (*e.g.* superficie, programmation), afin de développer des projets représentatifs de la manière dont est fait l'aménagement urbain aujourd'hui. A ce titre, les différentes étapes constitutives d'un tel projet pilote pourraient être (Figure 110) :

- la définition des objectifs du projet urbain (1er encadré bleu Figure 110) ;
- l'intégration, dès le départ, d'une équipe interdisciplinaire ayant des compétences en urbanisme opérationnel et pédologie urbaine, voire même plus largement en écologie urbaine. Cette intégration facilitera le diagnostic global des potentialités des écosystèmes du site de projet et pourra se nourrir d'éléments de réflexion définis au cours de discussions entre cette nouvelle compétence et celles déjà intégrées dans le montage d'un projet urbain (*e.g.* environnement, hydrologie) ;
- la mise en place de campagnes de description et d'échantillonnage des écosystèmes du site de projet qui permettront de diagnostiquer les potentialités globales de ces écosystèmes (*e.g.* biodiversité, hydrologie, pollution, géotechnique, sol) (expertise « interventions terrain » Figure 110) ;
- l'analyse des résultats issus de ces campagnes de diagnostics afin de produire des informations quant à la capacité des écosystèmes en place d'assurer certaines fonctions et de rendre des services (*e.g.* création d'emplois, support d'infrastructures de transports, support d'activités de loisir, régulation de la biodiversité, création de lien social) (résultats « production de connaissances » Figure 110) ;

- la confrontation des résultats des études préalables aux objectifs politiques initiaux afin de trouver un équilibre entre l'ensemble des enjeux urbains d'un projet d'aménagement (*e.g.* économie, social, environnemental) (résultats « recherche d'équilibre » Figure 110) ;
- la définition co-construite (entre acteurs de l'urbanisme opérationnel et compétences intégrées dès les études préalables) du plan masse du projet urbain tendant vers une localisation réfléchie des différents usages définis dans la programmation en vue d'obtenir un équilibre entre (i) développement économique, (ii) relations sociales, (iii) risques et aléas et (iv) optimisation des services rendus par les écosystèmes urbains du site de projet. Cette définition pourra être réalisée à travers la tenue d'ateliers interdisciplinaires regroupant la MOA, la MOE mandataire ainsi que l'ensemble des équipes intervenues lors des études préalables (expertise « ateliers interdisciplinaires » Figure 110) ;
- la réalisation de la phase « chantier », mise en œuvre selon une gestion raisonnée des sols urbains, permise par la définition de stratégies de gestion des sols avancées par les pédologues urbains dès la fin des études préalables (expertise « stratégies de gestion des écosystèmes » Figure 110) ;
- la tenue d'ateliers de sensibilisation des futurs gestionnaires (*e.g.* promoteur, particuliers) à la gestion des espaces livrés, permettant une gestion raisonnée des écosystèmes et donc une utilisation optimale de leurs potentialités (résultats « gestion raisonnée des écosystèmes » et « conseils de gestion aux futurs gestionnaires » Figure 110) ;
- la livraison d'un projet urbain durable optimisant les services rendus par l'ensemble des écosystèmes urbains du site de projet (dernier encadré bleu Figure 110).

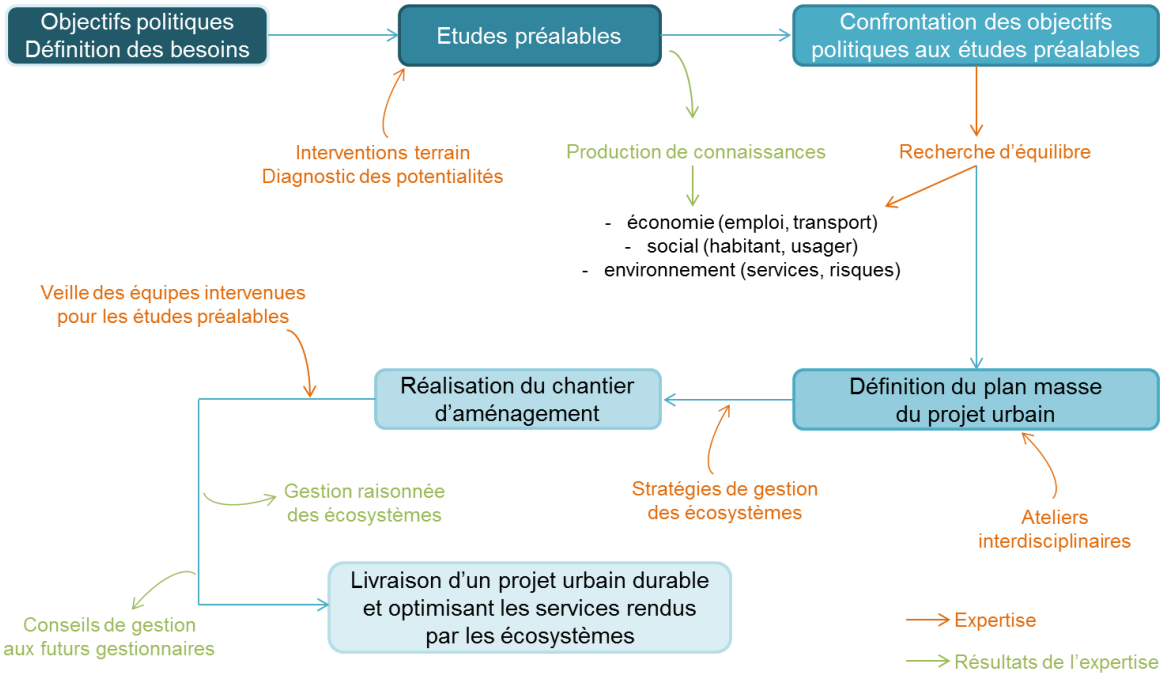


Figure 110 : Développement d'un projet urbain pilote optimisant les potentialités des écosystèmes du site de projet

Conclusion générale

Nos travaux sur les sols urbains ont été largement motivés par les questionnements liés à l'artificialisation des sols – et notamment l'urbanisation croissante – et la nécessaire préservation d'une couverture pédologique multifonctionnelle et capable de rendre des services. Des enjeux majeurs de préservation des sols se posent aujourd'hui dans la construction des aires urbaines de demain. Au fil des dernières années, la perception environnementale des acteurs de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme opérationnel a évolué, passant d'une faible considération à une conscience progressive des impacts environnementaux du développement urbain. Ce constat vaut notamment pour la protection des populations humaines face à de potentiels risques sanitaires, et plus globalement pour la régulation de la biodiversité. Forte des connaissances qu'elle a su développer en se rapprochant de diverses disciplines travaillant sur ces enjeux environnementaux, la fabrique urbaine s'est ensuite orientée vers la mise en place de stratégies limitant au maximum son impact sur les écosystèmes jugés les plus naturels (*e.g.* agricoles, forestiers). Les stratégies misent en œuvre dans l'aménagement du territoire s'orientent ainsi, en théorie, vers une limitation de l'artificialisation des milieux, une protection des sols agricoles et forestiers et une intégration accrue de la nature et biodiversité dans la construction des aires urbaines. Nos travaux ont la volonté d'aller plus loin dans la considération des écosystèmes urbains dans la fabrique urbaine, en s'appuyant notamment sur une évaluation des potentialités des sols urbains et des services qu'ils peuvent potentiellement rendre et en intégrant ces connaissances dans la mise en œuvre de projets opérationnels. Nos travaux s'insèrent ainsi dans une réflexion où une démarche de gestion environnementale permet l'aménagement du territoire, c'est-à-dire où le développement de l'unité urbaine, de l'aire urbaine, doit bénéficier à la qualité de son écosystème, et ne doit pas seulement éviter de le dégrader. En prenant exemple sur les sols urbains comme nouvelle utopie de la fabrique urbaine, en échos à la nature urbaine qui constituait celle du XX^{ème} siècle, nous sommes convaincus qu'une prise en compte intégrée des potentialités des écosystèmes urbains et de leur compartiment « sol » permettra de répondre aux enjeux durables urbains et même d'apporter des bienfaits supplémentaires inespérés au préalable. De cette manière, la considération globale des services écosystémiques urbains participeraient au développement de quartiers, voire d'aires urbaines ayant un impact environnemental positif, c'est-à-dire dont les modifications anthropiques engendrées sur les écosystèmes permettent une meilleure expression de leurs potentialités.

Tout d'abord, les résultats de l'enquête nationale menée auprès des acteurs de l'aménagement du territoire et des différents entretiens effectués avec les professionnels de l'urbanisme

opérationnel permettent de comprendre qu'il existe une fracture dans la considération des sols urbains entre acteurs de la planification territoriale et acteurs de projets urbains. En effet, il s'avère que ces derniers ont su, au fur et à mesure des évolutions réglementaires et des contraintes (*e.g.* économique, environnementale, sociale) relatives au développement des projets d'aménagement, percevoir les sols urbains comme un système tridimensionnel, un volume vivant et évolutif. De manière sensiblement différente, les documents de la planification territoriale ne mobilisent la dimension volumique des sols que dans le cas des milieux agricoles et forestiers, les sols urbains étant abordés uniquement comme des réserves foncières, des surfaces. L'échelle du projet urbain s'avère ainsi plus réactive face à la question du sol-système que la planification territoriale. Cependant, nos résultats permettent de souligner le fait que la considération systémique des sols des sites de projets urbains est actuellement essentiellement perçue sous l'angle des contraintes : défaut d'infiltration des eaux, pollutions potentielles ou faibles potentiels géotechniques. Les sols urbains sont souvent appréhendés par ces acteurs de l'urbanisme opérationnel comme des sources d'imprévus qui les décrivent comme des systèmes complexes car hétérogènes et non visibles. Ainsi, le sol urbain en tant que système, voire écosystème en soi, n'est que très rarement perçu comme capable de rendre des services écosystémiques à l'instar des sols agricoles et forestiers. Le matériau terreux issu du sol urbain – appelé alors terre végétale ou remblais - semble être néanmoins mieux considéré comme une ressource pour l'aménagement d'un site de projet urbain. Ces considérations sont cependant, dans une large mesure, intuitives et non formalisées, fortement dépendantes de la sensibilité aux questions environnementales et de la formation de l'acteur considéré. Ce décalage entre le peu de vision systémique du sol urbain et l'approche matériau-ressource peut s'expliquer par un manque de connaissances qu'ont la plupart des acteurs de la fabrique urbaine de ce système complexe.

A ce titre, nous avons démontré que les outils et méthodes de la pédologie « classique » peuvent être transposés et adaptés au milieu urbain, afin d'appréhender l'état et le fonctionnement de la composante pédologique de ces espaces. Les campagnes d'échantillonnage sur le terrain et les analyses en laboratoire réalisées sur des sols de 10 sites de projets urbains – ayant des objectifs et des localisations contrastés – soulignent la très forte hétérogénéité de leurs propriétés bio-physico-chimiques. Parmi les sols étudiés certains présentent d'ailleurs des caractéristiques physico-chimiques qui les rapprochent des sols des milieux agricoles et forestiers environnants. Pour d'autres, l'historique des activités humaines influence fortement leurs propriétés, qui s'éloignent significativement de celles de leur matériau parent parfois enfouis sous des matériaux technogéniques d'apport. A cet égard, il convient de noter que près de la moitié des sols urbains étudiés ne sont pas des sols fortement anthropisés

(*e.g.* Anthrosols, Technosols). Compte tenu de la très forte variabilité des propriétés bio-physico-chimiques des sols urbains fortement anthropisés, il résulte une incapacité actuelle à rattacher ces sols à un état et un fonctionnement, au regard seul de leur appartenance à une classe de sol ou à un usage actuel (*e.g.* agricole, forestier, urbain). Nos travaux suggèrent ainsi que la connaissance des sols d'un site urbain ne peut se faire qu'à travers des investigations pédologiques approfondies et au cas par cas. Ces méthodes peuvent cependant se révéler complexes à appréhender par un acteur de projets urbains sans l'appui d'un expert et/ou la mise en œuvre d'outils d'aide à la décision.

Nous proposons à cet égard une méthodologie de détermination des potentialités des sols urbains par l'évaluation des services écosystémiques qu'ils peuvent rendre. Se reposant sur les grandes lignes de la démarche Destisol et en proposant des améliorations significatives, la méthodologie engagée permet d'appréhender la complexité et l'hétérogénéité, tant verticale qu'horizontale, des sols urbains à l'échelle d'un site de projet d'aménagement. Les résultats soulignent la capacité des sols urbains à assurer des fonctions et à rendre des services écosystémiques, parfois même à haut niveau. A ce titre, il s'avère que les sols fortement anthropisés, compte tenu de la grande hétérogénéité de leurs caractéristiques, peuvent présenter des niveaux de services écosystémiques équivalents voire supérieurs à ceux fournis par certains sols souvent qualifiés avec un certain *a priori* de plus naturels (*e.g.* agricoles, forestiers). Nos résultats permettent également de souligner le rôle majeur de la couverture des sols dans la production des services écosystémiques. En effet, certaines couvertures de sols (*e.g.* scellement, imperméabilisation) inhibent considérablement le fonctionnement de ce dernier. A l'inverse, d'autres couvertures (*e.g.* non scellées, semi-scellées, plus ou moins végétalisées) permettent une expression optimale des services écosystémiques rendus par les sols urbains. A cet égard, l'outil d'aide à la décision proposé met en exergue, pour chacun des sols étudiés, la ou les différentes couvertures qui permettent une expression optimale de leurs services écosystémiques.

In fine, une évolution des réflexions opérationnelles est proposée, en questionnant la manière dont les acteurs de l'urbanisme opérationnel pourraient développer une prise en compte avancée (*i.e.* sous l'angle général des services écosystémiques englobant les aspects liés à la pollution, de géotechnique mais également liés à la fertilité des sols) des potentialités des sols urbains dans l'aménagement du territoire et l'urbanisme opérationnel. Il est à ce titre suggéré que l'intégration de ces informations se fasse tout au long des différentes étapes de mise en œuvre d'un projet urbain. Cela permettrait d'orienter les décisions des acteurs et ainsi aiguiller la localisation des services attendus du projet sur l'emprise de la parcelle urbaine. En résulterait une amélioration de la durabilité des quartiers par une utilisation

raisonnée de la ressource « sol urbain ». Installer le « bon usage » sur le « bon sol » induirait en effet une expression totale des services potentiellement rendus par les écosystèmes du site de projet, répondant aux attentes environnementales du développement durable. D'une part, cela contribuera à limiter les interventions humaines (*e.g.* excavation, terrassement, amendement, assainissement) sur ces écosystèmes au moment de la phase de préparation du site et de la phase chantier. D'autre part, une optimisation du couple « sol-usage » aurait des répercussions positives sur la limitation des interventions humaines à plus long terme, participant ainsi à une économie financière dans les phases d'entretien du site. L'optimisation des services écosystémiques rendus à l'échelle d'un site de projet permettrait également la production d'un paysage, participant à l'épanouissement des habitants et usagers du site car favorisant leur accès à des activités de loisirs et renforçant les liens sociaux. Par extrapolation, ces premiers résultats pourront servir de base à la constitution d'une méthodologie d'évaluation globale des potentialités des sols pour un développement durable d'aires urbaines.

Si nous avons apporté des réponses aux questions scientifiques qui se posaient au préalable, de nouvelles aspérités sont apparues au fil du temps, des méthodes engagées et des réflexions conduites. Elles constituent aujourd'hui des enjeux scientifiques nouveaux et des attentes opérationnelles émergentes. Des réponses pourront leur être trouvées en menant des recherches ciblées et conjointes en sciences du sol, en urbanisme et aménagement du territoire. Le recours à des connaissances et savoir-faire issus d'autres champs disciplinaires, tels que l'économie, l'écologie du paysage ou encore la sociologie, sera également indispensable. Nous avons en effet fortement contribué à la démonstration de l'intérêt de développer des méthodologies de recherche qui soient à l'interface d'une ou plusieurs disciplines. Fortes des connaissances développées dans chacune des disciplines considérées indépendamment les unes des autres, les recherches interdisciplinaires permettent, elles aussi, d'apporter leur pierre à l'édifice quant à la compréhension de notre environnement. L'interdisciplinarité permet la confrontation de nombreuses connaissances produites indépendamment sur un ensemble de milieux. Elle s'avèrera alors nécessaire à une considération globale des écosystèmes naturels et urbains, si le souhait futur est la construction de quartiers et d'aires urbaines à impact environnemental positif.

Références bibliographiques

ABACHI, F. (2002)
Le projet urbain, entre discours municipaux et plans d'aménagement urbain. *In* : Villes et projets urbains en Méditerranée. Presses universitaires François-Rabelais. Tours. p.123-135. DOI : 10.4000/books.pufr.290. [En ligne] Consulté le 7 septembre 2018 (https://books.openedition.org/pufr/290)

ABAWI, G.S., **WIDMER**, T.L. (2000)
Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. Applied Soil Ecology, 15. p.37-47. PII : S0929-1393(00)00070-6

ADELMANN, G.W. (1998)
Reworking the landscape, Chicago style. The Hastings Center Report, 28. p.6-11. SICI : 0093-0334(199811/12)28:6<S6:RTLCS>2.0.ZU;2-Q

ADEME (n.d.)
Le coefficient de biotope par surface. Fiche biodiversité outil/méthode, 11. Cahier Technique Ecosystèmes dans les territoires. 2p. [En ligne] Consulté le 8 août 2018 (http://multimedia.ademe.fr/catalogues/CTecosystemes/fiches/outil11p6364.pdf)

ADEME (2014)
Biodiversité & reconversion des friches urbaines polluées. Connaitre pour agir. 10p. [En ligne] Consulté le 25 février 2018 (https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/biodiversite-et-reconversion-friches-urbaines-polluees-8078.pdf)

ADEME (2015)
Les sols portent notre avenir. Connaitre pour agir. 16p. [En ligne] Consulté le 26 février 2018 (https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/sols_avenir_8387.pdf)

ADEME (2016)
Sol et changement climatique. Qualité des sols. [En ligne] Consulté le 23 mai 2018 (https://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/chiffres-cles-observations/dossier/qualite-sols/sols-changement-climatique)

ADEME (2017)
Les bio-indicateurs de l'état des sols, principes et exemples d'utilisation. Expertises. 30p. [En ligne] Consulté le 6 mars 2018 (https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/bio-indicateurs_010216.pdf)

ADHIKARI, K., **HARTEMINK**, A.E. (2015)
Linking soils to ecosystem services – A global review. Geoderma, 262. p.101-111 (https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009)

AGULHON, M., **CHOAY**, F., **MAURICE**, C., **LEQUIN**, Y., **RONCAYOLO**, M. (1998)
La ville de l'âge industriel, le cycle haussmannien. Seuil. Paris. 730p. EAN : 9782020343114

ANDERSON, E.C., **MINOR**, E.S. (2017)
Vacant lots: An underexplored resource for ecological and social benefits in cities. Urban Forestry & Urban Green, 21. p.146–152. DOI : 10.1016/j.ufug.2016.11.015

ANDREWS, S.S., **KARLEN**, D.L., **CAMBARDELLA**, C.A. (2004)
The soil management assessment framework. Soil Science Society of America Journal, 68.p. 1945-1962. [En ligne] Consulté le 4 avril 2018 (https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=9094&content=PDF)

ARNAUD, F., **DIA**, A., **FAURE**, D., **GAILLARDET**, J., **MERMILLOD-BLONDIN**, F., **VALENTIN**, C. (2015)
Livre Blanc sur les sols - Rapport du Réseau Thématique Pluridisciplinaire « Sols » juillet 2013 - janvier 2015. CNRS. 68p. [En ligne] Consulté le 8 février 2018 (http://www.insu.cnrs.fr/files/livre_blanc.pdf)

ARRIF, T., **BLANC**, N., **CLERGEAU**, P. (2011)
Trame verte urbaine, un rapport Nature — Urbain entre géographie et écologie. Cybergeo. [En ligne] Consulté le 27 février 2018 (http://cybergeo.revues.org/24862)

AVITABILE, A. (2005)
La mise en scène du projet urbain, pour une structuration des démarches. Villes et entreprises, urbanisme, aménagement, sociologie urbaine. 336 p. EAN PDF : 9782296397750

BAIZE, D. (2000)
Teneurs totales en « métaux lourds » dans les sols français - Résultats généraux du programme ASPITET - Courrier de l'environnement de l'INRA, n°39. 16p. [En ligne] Consulté le 10 août 2018 (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01203415/file/C39Baize.pdf)

BAIZE, D., **JABIOL**, B. (2011)
Guide pour la description des sols. Editions Quae. 430p. ISBN : 978-2-7592-1034-3

BANISTER, D., **HICKMAN**, R. (2006)
How to Design a More Sustainable and Fairer Built Environment: Transport and Communications. IEE Proceedings of the Intelligent Transport System, 153, 4. p.276-291.
DOI : 10.1049/ip-its:20060009

BANOS, V., **RULLEAU**, B. (2014)
Regards croisés sur l'évaluation économique du patrimoine naturel : de la ressource d'autorité à la petite fabrique des valeurs. Annales de géographie, 699. p.1193-1214.
DOI : 10.3917/ag.699.1193

BANQUE MONDIALE (n.d.)
Données sur la population mondiale. [En ligne] Consulté le 22 août 2018 (https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/sp.pop.totl)

BARDGETT, R.D. (2002)
Causes and consequences of biological diversity in soil. Zoology, 105. p.367–374.
DOI : 10.1078/0944-2006-00072

BASOL (2015)
Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. [En ligne] Consulté le 30 août 2018 (https://basol.developpement-durable.gouv.fr/)

BAUMGARTL, T.H. (1998)
Physical soil properties in specific fields of application especially in anthropogenic soils. Soil & Tillage Research, 47. p.51-59 (https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00072-5)

BECHET, B., **CARRE**, F., **FLORENTIN**, L., **LEYVAL**, C., **MONTANARELLA**, L., **MOREL**, JL., **RAIMBAULT**, G., **RODRIGUEZ**, F., **ROSSIGNOL**, J.P., **SCHWARTZ**, C. (2009)
Caractéristiques et fonctionnement des sols urbains. *In* Sous les pavés la terre. Cheverry, C. Omniscience, Montreuil. p.45-74. ISBN : 978-2-916097-03-9

BECHET, B., **LE BISSONNAIS**, Y., **RUAS**, A. (2017)
Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action. IFSTTAR et INRA. 650p. [En ligne] Consulté le 14 août 2018 (https://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/420284-12ef6-resource-artificialisation-des-sols-rapport-en-francais.pdf)

BELON, E., **BOISSON**, M., **DEPORTES**, I.Z., **EGLIN**, T.K., **FEIX**, I., **BISPO**, A.O., **GALSOMIES**, L., **LEBLOND**, S., **GUELLIER**, C.R. (2012)
An inventory of trace elements inputs to French agricultural soils. Science of Total Environment, 439. p.87-95 (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.011)

BILLET, P. (2018)
Le statut juridique des sols face à l'artificialisation : état des lieux et perspectives. Annales des Mines - Responsabilité et environnement, 91, 3. p.24-28. [En ligne] Consulté le 6 février 2018 (https://www.cairn.info/revue-responsabilite-et-environnement-2018-3-page-24.htm)

BIMBY (n.d.)
Build In My BackYard [En ligne] Consulté le 18 mars 2018 (http://bimby.fr/portail/demarche)

BISPO, A., **CLUZEAU**, D., **CREAMER**, R., **DOMBOS**, M., **GRAEFE**, U., **KROGH**, P., **SOUSA**, J., **PERES**, G., **RUTGERS**, M., **WINDING**, A., **ROMBKE**, J. (2009a)
Indicators for Monitoring Soil Biodiversity. Integrated Environmental Assessment and Management, 5. p.717-719 (https://doi.org/10.1897/IEAM_2009-064.1)

BISPO, A., **GRAND**, C., **GALSOMIES**, L. (2009b)
Le programme ADEME « Bioindicateurs de qualité des sols » : Vers le développement et la validation d'indicateurs biologiques pour la protection des sols. Étude et Gestion des Sols, 16, 3/4. p.145-158.

BLANC, N. (2009)
Vers un urbanisme écologique. Urbia : urbanisme végétal et agriurbanisme, 8. p.39-61. [En ligne] Consulté le 15 mai 2018 (http://www.unil.ch/webdav/site/ouvdd/shared/URBIA/urbia_08/urbia_08_complet.pdf#page)

BLANC, N., **GLATRON**, S., **SCHMITT**, G. (2012)
Trames vertes urbaines. Développement durable et Territoires, 3, 2. 7p. ISSN : 1772-9971

BLANC, N., **CLERGEAU**, P. (2013)
La nature en ville. *In* Le développement durable à découvert. Euzen, A., Eymard, L., Gaill, F. Paris, CNRS Éditions. p.130-131 (http://books.openedition.org/editionscnrs/docannexe/image/10674/img-1.jpg)

BLANCHART, A., **SERE**, G., **CHEREL**, J., **WAROT**, G., **STAS**, M., **CONSALES**, JN., **SCHWARTZ**, C. (2017)
Contribution des sols à la production de services écosystémiques en milieu urbain – une revue. Environnement urbain, Urban environment, 11. p 1-33. ISSN : 1916-4645 (http://eue.revues.org/1809)

BLANCHART, A., **SERE**, G., **CHEREL**, J., **WAROT**, G., **STAS**, M., **CONSALES**, JN., **MOREL**, JL., **SCHWARTZ**, C. (2018a)
Towards an operational methodology to optimize ecosystem services provided by urban soils. Landscape and Urban Planning, 176. p 1-9 (https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.019)

BLANCHART, A., **CONSALES**, JN., **SERE**, G**SCHWARTZ**, C. (2018b)
Consideration of soil in urban planning documents – A French case study. Journal of soils and sediments, SUITMA 9: Urbanization — Challenges and opportunities for soil functions and ecosystem services. 10p (https://doi.org/10.1007/s11368-018-2028-x)

BLANCHART, E. (2012)
Quels bioindicateurs pour une gestion durable des sols ? Actes de la journée technique ADEME « Bioindicateurs pour la caractérisation des sols » p.31−38. [En ligne] Consulté le 26 août 2018 (https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ademe-bioindicateur/download/Jtech/1_utilisation_bioindicateurs_eau_air_sols.pdf)

BOLUND, P., **HUNHAMMAR**, S. (1999)
Ecosystem services in urban areas. Ecological Economics, 29. p.293–301.
PII : S0921-8009(99)00013-0

BONGERS, T. (1990)
The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia, 83. p.14-19 (https://doi.org/10.1007/BF00324627)

BOULARBAH, A., **SCHWARTZ**, C., **BITTON**, G., **MOREL**, JL. (2006)
Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 1. Use of a biotest to assess metal toxicity of tailings and soils. Chemosphere, 63. p.802-810.
DOI : 10.1016/j.chemosphere.2005.07.079

BOUTEFEU, E., **ARNOULD**, P., **TOUSSAINT** J.Y. (2008)
Quels espaces verts pour la ville de demain ? Cafés Géographiques. 10p. [En ligne] Consulté le 28 juillet 2018 (http://cafe-geo.net/wp-content/uploads/quels-espaces-verts-ville-demain.pdf)

BRAAT, L.C., **DE GROOT**, R. (2012)
The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. Ecosystem services, 1, 1. P.4-15 (https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011)

BREURE, A.M., **DE DEYN**, G.B., **DOMINATI**, E., **EGLIN**, T., **HEDLUND**, K., **VAN ORSHOVEN**, J., **POSTHUMA**, L. (2012)
Ecosystem services: A useful concept for soil policy making! Current Opinion in Environmental Sustainability, 4. p. 578–585 (https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.010)

BUREL F., **BAUDRY** J. (1999)
Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications. Tec & Doc Lavoisier, Paris. 360p. ISBN-13 : 978-2743003050

BURKHARD, B., **MAES**, J. (2017)
Mapping Ecosystem Services. Advanced Books. 378p (https://doi.org/10.3897/ab.e12837)

CAMBOU, A., **SHAW**, R.K., **HUOT**, H., **VIDAL-BEAUDET**, L., **HUNAULT**, G., **CANNAVO**, P., **NOLD**, F., **SCHWARTZ**, C. (2018)
Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. Science of the Total Environment, 644. p. 452-464. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2018.06.322

CASTEL, J.C. (2010)
La densité urbaine : savoirs et débats. Outils et méthodes pour l'observation urbaine. CERTU. 6p. [En ligne] Consulté le 18 mars 2018
(http://www.observation-urbaine.certu.equipement.gouv.fr)

CECILLON, L. (2008)
Quels Indicateurs pour évaluer la qualité des sols forestiers soumis à des contraintes environnementales fortes ? Thèse de doctorat. Université de Grenoble. 215p.

CHALOT, R. (2015)
Écologie et urbanisme : comment les experts du vivant peuvent-ils contribuer à la conception du cadre urbain ? VertigO. DOI : 10.4000/vertigo.16561. [En ligne] Consulté le 13 mars 2018 (http://journals.openedition.org/vertigo/16561)

CHAMBERS, L.G., **CHIN**, Y.P., **FILIPPELLI**, G.M., **GARDNER**, C.B, **HERNDON**, E.M., **LONG**, D.T, **LYONS**, W.B., **MACPHERSON**, G.L., **MACELMURRY**, S.P., **MACLEAN**, C.E., **MOORE**, J., **MOYER**, R.P., **NEUMANN**, K., **NEZAT**, C.A., **SODERBERG**, K., **TEUTSCH**, N., **WIDOM**, E. (2016)
Developing the scientific framework for urban geochemistry. Applied Geochemistry, 67. p.1-20. DOI : 10.1016/j.apgeochem.2016.01.005

CHAUSSOD, R. (1996)
La qualité biologique des sols : évaluation et implications. Forum « le Sol, un patrimoine menacé ? ». Paris, 24 octobre 1996. 18p. [En ligne] Consulté le 24 février 2018
(http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_3_4_CHAUSSOD.pdf)

CHEVERRY, C., **GASCUEL**, C. (2009)
Sous les pavés la terre : connaitre et gérer les sols urbains. Omniscience. Montreuil. 208 p. ISBN : 978-2-916097-03-9

CHOAY, F. (1965)
L'urbanisme, utopies et réalités, Une anthologie. Seuil. Paris. 448 p. EAN 9782020053280

CICES (2013)
Towards a common classification of ecosystem services. CICES V4.3. [En ligne] Consulté le 4 avril 2018 (https://cices.eu/)

CLERGEAU, P. (2007)
Une écologie du paysage urbain. Apogée. Rennes. 136p. ISBN : 9782843982880

CLUZEAU, D., **GUERNION**, M., **CHAUSSOD**, R., **MARTIN-LAURENT**, F., **VILLENAVE**, C., **CORTET**, J., **RUIZ-CAMACHO**, N., **PERNIN**, C., **MATEILLE**, T., **PHILIPPOT**, L., **BELLIDO**, A., **ROUGE**, L., **ARROUAYS**, D., **BISPO**, A., **PERES**, G. (2012)

Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. European Journal of Soil Biology, 49. p.63-72.
DOI : 10.1016/j.ejsobi.2011.11.003

CNRS (2017)

Surfaces et interfaces continentales 2013-2017. Bilan et Prospective 2013-2017 de la Commission spécialisée Surfaces et Interfaces Continentales de l'Institut national des sciences de l'Univers. Prospective, Institut International des Sciences de l'Univers. 84 p. [En ligne] Consulté le 5 mars 2018 (http://www.insu.cnrs.fr/files/prospective-sic_2013.pdf)

COLE, L., **BRADFORD**, M.A., **SHAW**, P.J.A., **BARDGETT**, R.D. (2006)

The abundance, richness and functional role of soil meso- and macrofauna in temperate grassland - A case study. Applied Soil Ecology, 33. p.186-198.
DOI : 10.1016/j.apsoil.2005.11.003

COLLECTIVITES LOCALES (n.d.)

Les documents d'urbanisme et les règles générales d'urbanisme. [En ligne] Consulté le 20 avril 2018 (https://www.collectivites-locales.gouv.fr/documents-durbanisme-et-regles-generales-durbanisme)

COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE (CGDD) (2014)

La biodiversité : écosystèmes, fonctions et services écosystémiques. Bibliographie du CRDD, Ministère de l'Ecologie, du développement durable et de l'énergie. [En ligne] Consulté le 1 juin 2018 (https://www2.developpement-durable.gouv.fr/.../Biodiversite1_biblio_CRDD_20140922.pdf)

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPENNES (2006)

Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen, au Comité Economique et Social Européen et au Comité des Régions. [En ligne] Consulté le 25 février 2018 (http://www.europarl.europa.eu/registre/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2006/0408/COM_COM%282006%290408_FR.pdf)

CONSALES, JN. (2000)

Les jardins familiaux marseillais : laboratoires territoriaux d'une agriculture urbaine en Méditerranée. Méditerranée, 95. P.81-88 (https://doi.org/10.3406/medit.2000.3179)

COSTANZA, R., **D'ARGE**, R., **DE GROOT**, R., **FARBER**, S., **GRASSO**, M., **HANNON**, B., *et al.* (1997)

The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387. p.253-260.

COUNOYER-GENDRON (2014)

La notion de développement durable urbain : mise en oeuvre et definition, le regard des acteurs communautaires du quartier Rosemont à Montréal. Mémoire maîtrise en études urbaines. Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, centre – Urbanisation, culture, société. 181p.

CRAUL, P.J. (1992)

Urban soil in landscape design. John Wiley & Sons. 416p. ISBN : 978-0-471-80598-4

CULMAN, S.W., **YOUNG-MATHEWS**, A., **HOLLANDER**, A.D., **FERRIS**, H., **SANCHEZ-MORENO**, S., **O'GEEN**, A.T., **JACKSON**, L.E. (2010)

Biodiversity is associated with indicators of soil ecosystem functions over a landscape gradient of agricultural intensification. Landscape Ecology, 25. p.1333-1348 (https://doi.org/10.1007/s10980-010-9511-0)

DA CUNHA, A. (2009)

La ville entre artifice et nature. Urbia : urbanisme végétal et agriurbanisme, Les cahiers du développement urbain durable. p.1-21. [En ligne] Consulté le 15 mai 2018 (http://www.unil.ch/webdav/site/ouvdd/shared/URBIA/urbia_08/urbia_08_complet.pdf#page)

DAGOIS, R. (2015)

Vers une modélisation du statut de polluants organiques de Technosols sous influences climatiques contrastées. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 313 p.

DANIEL, T.C., **MUHARB**, A., **ARNBERGER**, A., **AZNAR**, O., **BOYD**, J.W., **CHAN**, K.M.A., **COSTANZA**, R., **ELMQVIST**, T., **FLINT**, C.G., **GOBSTER**, G.H., **GRET-REGAMEY**, A., **LAVE**, R., **MUHAR**, S., **PENKER**, M., **RIBE**, M.G., **SCHAUPPENLEHNER**, T., **SIKOR**, T., **SOLOVIY**, I., **SPIENRENBURG**, M., **TACZANOWSKA**, K., **TAME**, J., **VON DER DUNK**, A. (2012)

Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda, Proceedings of National Academic Science, 109, 23. P.8812-8819 (https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109)

DEFFONTAINES, J.P. (1992)

L'agronomie : discipline et interdiscipline. *In* Sciences de la nature, sciences de la société. Jolivet, M. p.113-128. ISBN : 9782271079787. DOI : 10.4000/books.editionscnrs.4173

DE GROOT, R.S., **WILSON**, M.A., **BOUMANS**, R.M.J. (2002)

A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics, 41. p.393-408
(https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)

DE KIMPE, C.R., **MOREL**, JL. (2000)

Urban soil management: a growing concern. Soil Science, 165. p.31-40
(https://doi.org/10.1097/00010694-200001000-00005)

DELAUNOIS, A. (2013)

Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols, destiné aux agriculteurs et aux agronomes. Agricultures et Territoires, Chambre d'Agriculture. 39p. [En ligne] Consulté le 15 février 2018
(http://aocsols.free.fr/fichiers%20programmes/guide%20profil%20sol%20CA%20tarn%202008.pdf
)

DE MIGUEL, M., **LLAMAS**, J.F., **CHACON**, E., **MAZADIEGO**, L.F. (1999)

Sources and pathways of trace element in urban environment: a multielemental qualitative approach. Science of Total Environment, 235. p.355-357.
DOI : 10.1016/S0048-9697(99)00234-X

DERMONT, G. (2008)

Sols pollués par les métaux résultant de l'enfouissement de déchets industriels (Montréal, Canada) : géochimie, spéciation des métaux, et décontamination par flottation. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre et Environnement. Université de Québec, INRS-ÉTÉ. 422p.

DEROUBAIX, JF., **RIOUST**, E., **MOULIN**, E. (2015)

Quelles stratégies de maîtrise du risque d'inondation en zones urbaines dans la vallée de la Bièvre ? Résultats des ateliers d'urbanisme organisés à Jouy-en-Josas, d'avril à juin 2012. 15p. [En ligne] Consulté le 8 mars 2018 (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01202868)

DESJARDINS, X. (2017)

L'aménagement du territoire. Armand Colin. Paris. EAN : 9782200613280

DESJARDINS, X., **GENEAU DE LAMARLIERE**, I. (2016)

L'aménagement du territoire en France (2ème édition). Les Etudes, 5420-21. 184p.
ISBN : 3303331954200

DESROUSSEAUX, M. (2015)

La protection juridique de la qualité des sols. Thèse de doctorat. Bibliothèque de droit de l'urbanisme et de l'environnement. 502p.

DESTISOL (n.d.)

Les sols, une opportunité pour un aménagement urbain durable - Guide méthodologique. [En cours de rédaction]

DOMNIATI, E., **PATTERSON**, M., **MACKAY**, A. (2010)

A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. Ecological Economics, 69. p.1858-1868. DOI : 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002

DORAN, J.W., **ZEISS**, M.R. (2000)

Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology, 15. p.3-11. PII : S0929-1393(00)00067-6

DORAN, J.W. (2002)
Soil health and global sustainability: Translating science into practice. Agriculture, Ecosystem & Environment, 88. p.119-127 (https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00246-8)

DUCOS, J.P. (2015)
L'efficacité environnementale des documents d'urbanisme : les Schémas de Cohérence Territoriale : échelle nationale et locale : le cas du Maine-et-Loire. Géographie. Université d'Angers. 705p (https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01475750)

DUNGER, W., **VOIGTLANDER**, K. (2009)
Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil eco-subsystem development in post-mining sites of eastern Germany –a review. Soil Organisms, 81. p.1-51. ISSN : 1864-6417

EDELBLUTTE. S., (2009)
Paysages et territoires du patrimoine industriel au Royaume-Uni. Revue Géographique de l'Est, 48. [En ligne] Consulté le 2 avril 2018 (http://rge.revues.org/index1165.html)

EL KHALIL, H., **SCHWARTZ**, C., **EL HAMIANI**, O., **KUBINIOK**, J., **MOREL**, JL., **BOULARBAH**, A. (2008)
Contribution of technic materials to the mobile fraction of metals in urban soils in Marrakech (Morocco). Journal of Soils and Sediments, 8. p.17-22 (https://doi.org/10.1065/jss2008.01.269)

EL KHALIL, H., **SCHWARTZ**, C., **EL HAMNIANI**, O., **KUBINIOK**, J., **MOREL**, JL., **BOULARBAH**, A. (2013)
Distribution of major elements and trace metals as indicators of technosolisation of urban and suburban soils. Journal of Soils and Sediments, 13. p.519-530. DOI : 10.1007/s11368-012-0594-x

ENVASSO (2006)
Environmental Assessment of Soil for monitoring. Scientific support to policy. European Commission 6th Framework Program. [En ligne] Consulté le 4 février 2018 (https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/environmental-assessment-soil-monitoring-volume-i-indicators-criteria)

ESCOBEDO, F.J., **KROEGER**, T., **WAGNER**, J.E. (2011)
Urban forests and pollution mitigation – Analyzing ecosystem services and disservices. Environmental Pollution, 159. p.2078-2087. DOI : 10.1016/j.envpol.2011.01.010

FAO (1998)
Élaboration d'une base de données sur l'occupation du sol grâce à la télédétection et à un système d'informations géographiques. Série Télédétection pour décideurs, 21. [En ligne] Consulté le 9 juillet 2018 (http://www.fao.org/docrep/004/Y3642F/Y3642F00.HTM)

FOUNTAIN, M.T., **HOPKIN**, S.P. (2004)
A comparative study of the effects of metal contamination on Collembola in the field and in the laboratory. Ecotoxicology, 13. p.573-587 (https://doi.org/10.1023/B:ECTX.0000037194.66321.2c)

FORMAN, R.T.T., **GODRON**. M. (1986)
Landscape ecology. John Wiley & Sons. New York. 620p (https://doi.org/10.1017/S0376892900008766)

GALLAGHER, F.J., **PECHNMANN**, I., **BOGDEN**, J.D., **GRABOSKY**, J., **WEIS**, P. (2008)
Soil metal concentrations and vegetative assemblage structure in an urban brownfield. Environmental Pollution, 153. p.351-361. DOI : 10.1016/j.envpol.2007.08.011

GARCIA-RUIZ, R., **OCHOA**, V., **VINEGLA**, B., **HINOJOSA**, M.B., **PENA-SANTIAGO**, R., **LIEBANAS**, G., **LINARES**, J.C., **CARREIRA**, J.A. (2009)
Soil enzymes, nematode community and selected physico-chemical properties as soil quality indicators in organic and conventional olive oil farming: Influence of seasonality and site features. Applied Soil Ecology, 41. p.305-314. DOI : 10.1016/j.apsoil.2008.12.004

GERLACH, J., **SAMWAYS**, M., **PRYKE**, J. (2013)
Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. Journal of insect Conservation, 17. p.831-850 (https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9)

GHOSE, R. (2004)
Model-based integration of seismic and CPT data to derive soil parameters. *In* Proc. 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Utrecht. The Netherlands, EAGE Publications, Houten.

GIRARD, M.C., **WALTER**, C., **REMY**, J.C., **BERTHELIN**, J., **MOREL**, JL. (2011)
Sols et environnement. Dunod. 2ème édition. 881p. EAN : 9782100549009

GIS SOL (2011)
Synthèse sur l'état des sols de France. GIS Sol. Paris. 192p
(http://147.100.179.105/gissol/rapports/Rapport_HD.pdf)

GORIOUX, C. (2013)
Les rôles des différents acteurs sur la pérennité d'un projet urbain, lors de sa mise en forme. Étude de cas du projet du Jardin Public de la ville de Sainte. Mémoire de fin d'études. Sciences agricoles.

GREY-REGAMET, A., **WEIBEL**, B., **KIENAST**, F., **RABE**, S-E., **ZULIAN**, G. (2015)
A tiered approach for mapping ecosystem services. Ecosystem services, 13. p.16-27
(https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.008)

GUERIF, M., **KING**, D. (2007)
Agriculture de précision. Update Sciences & technologies, Edition Quae. 292p.
ISSN : 978-2-7592-0019-1

HUBERT, B., **MATHIEU**, N. (1992)
Potentialités, contraintes, ressources : récurrence ou renouveau bien tempéré ? *In* Sciences de la nature, sciences de la société. Jolivet, M. p.307-320.
DOI : 10.4000/books.editionscnrs.4173.

HAVLICEK, E. (2012)
Soil biodiversity and bio indication: From complex thinking to simple acting. European Journal of Soil Biology, 49. p.80-84 (https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.01.009)

HOWARD, E. (1898)
To-Morrow, A peaceful Path to real Reform. Routledge. Londres, New York. 220p.
Ark:/13960/t1hh93f49

HUOT H., **SIMMONOT**, M.O., **WATTEAU**, F., **MARION**, P., **YVON**, J., **DE DONATO**, P., **MOREL**, JL. (2014)
Early transformation and transfer processes in a Technosol developing on iron industry deposits. European Journal of Soil Science, 65. p.470-484
(https://doi.org/10.1111/ejss.12106)

INSTITUT D'AMENAGEMENT ET D'URBANISME D'ILE DE FRANCE (IAUIF) (2005)
Appréhender la densité. Note rapide sur l'occupation du sol, 384. Formes urbaines et densités. [En ligne] Consulté le 18 mars 2018 (https://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/apprehender-la-densite-3.html)

INSTITUT D'AMENAGEMENT ET D'URBANISME D'ILE DE FRANCE (IAUIF) (2015)
Comment concevoir des extensions urbaines denses. Les carnets pratiques. 60p. ISSN : 978-2-7371-1755-8

INFOTERRE, **BRGM** (n.d.)
Le visualiseur des données géoscientifiques. [En ligne] Consulté le 8 mai 2018
(http://infoterre.brgm.fr/)

INSEE (2010)
Définitions, méthodes et qualité - Aire urbaine. INSEE. [En ligne] Consulté le 23 avril 2018 (http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/aire-urbaine.htm)

INSEE (2011)
Le nouveau zonage en aires urbaines de 2010. INSEE, 1374. [En ligne] Consulté le 23 février 2016 (http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1374/ip1374.pdf)

INSEE (2016)
INSEE references. INSEE. [En ligne] Consulté le 30 octobre 2017)
(https://www.insee.fr/fr/statistiques/1906659?sommaire=1906743)

ISO (2015)
Norme NF ISO 11074 Qualité du sol - Vocabulaire.

IUSS WORKING GROUP WRB (2014)
World reference base for soils resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 203p. ISSN : 978-92-5-108369-7

JEGOUZO, Y. (2009)
Fiche 1 - L'étude d'environnement de droit commun. Séminaire écriture des PLU. L'Evaluation environnementale des plans locaux d'urbanisme. Gridauh, 9. [En ligne] consulté le 8 février 2018 (www.gridauh.fr/comptes-rendus-de-travaux/ecriture-des-plu/)

JOIMEL, S. (2015)
Biodiversité et caractéristiques physico-chimiques des sols de jardins associatifs urbains français. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 310p.

JOIMEL, S., **CORTET**, J., **JOLIVET**, C.C., **SABY**, N.P.A., **CHENOT**, E.D., **BRANCHU**, P., **CONSALES**, J.N., **LEFORT**, C., **MOREL**, JL., **SCHWARTZ**, C. (2016)
Physico-Chemical Characteristics of Topsoil for Contrasted Forest, Agricultural, Urban and Industrial Land Uses in France. Science of the Total Environment, 545-546. p.40-47 (http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.035)

JOIMEL, S., **SCHWARTZ**, C., **HEDDE**, M., **KIYOTA**, S., **KROGH**, P.H., **NAHMANI**, J., **PERES**, G., **VERGNES**, A., **CORTET**, J. (2017)
Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality. Science of the Total Environment, 584-585. p.614–621 (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.086)

JOLIVET, C., **BOULONNE**, L., **RATIE**, C. (2006)
Manuel du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS). 187p.

KARLEN, D.L., **DITZLER**, C.A., **ANDREWS**, S.S. (2003)
Soil quality: Why and how? Geoderma, 114. p.145-156 (https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9)

KELLER, C., **LAMBERT-HABIB**, M.L., **ROBERT**, S., **AMBROSI**, J.P., **RABOT**, E. (2012)
Méthodologie pour la prise en compte des sols dans les documents d'urbanisme : application à deux communes du bassin minier de Provence. Sud-Ouest européen, 33. p11-24.
DOI : 10.4000/soe.173

KLEIN, O., **DREVON**, G., **GWIAZDZINSKI**, L. (2017)
Représenter les temps et les rythmes urbains. *In* Chronotopies. Lecture et écriture des mondes en mouvement. Elya Editions. p.148-160. ISSN : 979-10-91336-109
(https://www.elyascop.fr)

KROLL, F., **MULLER**, F., **HAASE**, D., **FOHRER**, N. (2012)
Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. Land Use Policy, 29. p.521-535. DOI : 10.1016/j.landusepol.2011.07.008

LAUGIER , R. (2013)
La biodiversité - Une synthèse documentaire. Centre de Ressources Documentaires Aménagement, Logement et Nature. METL-MEEM. 40p. [En ligne] Consulté le 28 août 2018 (http://www.cdu.urbanisme.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Biodiversite_Synthese_012013_cle55ffa1.pdf)

LAURENT, A., **FONDRILLON**, M. (2011)
Mesurer la ville par l'évaluation et la caractérisation du sol urbain : l'exemple de Tours. Revue archéologique du Centre de la France, 49. [En ligne] Consulté le 4 août 2018 (http://journals.openedition.org/racf/1485)

LEGER-SMITH, F.A. (2014)
Evolution des pratiques des paysagistes face aux enjeux écologiques de la conception urbaine. Thèse de doctorat. Université Nantes, Angers, Le Mans. 289p.

LEGIFRANCE (n.d.)
Textes de lois [En ligne] Consulté le 13 mars 2018 (https://www.legifrance.gouv.fr)

LE GOIX, R. (2016)
Sur le front de la métropole, une géographie suburbaine de Los Angeles. Publications de la Sorbonne. 318p. ISBN-10 : 2859449655

LEGUEDOIS, S., **SERE**, G., **AUCLERC**, A., **CORTET**, J., **HUOT**, H., **OUVRARD**, S., **WATTEAU**, F., **SCWHARTZ**, C., **MOREL**, JL. (2016)
Modelling pedogenesis of technosols. Geoderma, 262. p.199-212.
DOI : 10.1016/j.geoderma.2015.08.008

LESPEZ, L., **GERMAINE**, M.A., **BARRAUD**, R. (2016)
L'évaluation par les services écosystémiques des rivières ordinaires est-elle durable ?. VertigO, 25. [En ligne] Consulté le 10 août 2018. DOI : 10.4000/vertigo.17443
(http://journals.openedition.org/vertigo/17443)

LOREDO, J., **ORDONEZ**, A., **CHARLESWORTH**, S., **DE MIGUEL**, E. (2003)
Influence of industry on the geochemical urban environment of Mieres (Spain) and associated health risk. Environmental Geochemistry and Health, 25. p.307-323.
(https://doi.org/10.1023/A:1024521510658)

MADUREIRA, H., **CORMIER**, L. (2014)
La complexité de l'application du concept d'infrastructure verte à l'échelle locale: exemples de Paris et Porto. Urbanités et biodiversité. Entre villes fertiles et campagnes urbaines, quelle place pour la biodiversité ? (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01597292)

MAILLEFERT, M., **PETIT**, O. (2017)
Vers une démarche intégrée d'évaluation et de représentation des services écosystémiques : perspective interdisciplinaire et enjeux en milieu urbain. Environnement urbain, Urban environment, 11. [En ligne] Consulté le 11 août 2018
(http://journals.openedition.org/eue/1551)

MANTZIARAS, P., **VIGANO**, P. (2016)
Le sol des villes. Editions MétisPresses. 254p. ISBN : 978-2-940563-11-1

MARGULES, C.R. (1992)
The Wog Wog habitat fragmentation experiment. Environmental Conservation, 19. p.316-325 (https://doi.org/10.1017/S037689290003143X)

MARTIN, D. (2013)
Densification urbaine, vraie fausse solution au futur antérieur ? Overblog. [En ligne] Consulté le 23 août 2018
(http://www.cdu.urbanisme.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Synthese_Etalement_Urbain2012.pdf)

MARTINEZ-SALGADO, M-M., **GUTIERREZ-ROMERO**, V., **JANNSENS**, M., **ORTEGA-BLU**, R. (2010)
Biological soil quality indicators: a review. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. p.319–328. ISBN-13 : 978-84-614-6194-3

MAUSBACH, M.J., **TUGEL**, A. (1997)
Soil quality-A multitude of approaches. Natural resources conservation services. . 12p.

MEA (2003)
Ecosystem and human well-being – a framework for assessment. Island press. Washington DC. 266p. ISBN : 1-55963-403-0

MEDDLE, **MAAF** (2015)
Propositions pour un cadre national de gestion durable des sols. Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable. Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux. [En ligne] Consulté le 3 avril 2018
(http://agriculture.gouv.fr/propositions-pour-un-cadre-national-de-gestion-durable-des-sols-0)

MEHDI, L., **WEBER**, C., **DI PIETRO**, F., **SELMI**, W. (2012)
Évolution de la place du végétal dans la ville, de l'espace vert à la trame verte. VertigO, 12, 2. [En ligne] Consulté le 24 juillet 2018.). DOI : 10.4000/vertigo.12670
(https://journals.openedition.org/vertigo/12670

MENOZZI, M.J. (2014)
Les jardins dans la ville entre nature et culture. Universitaires de Rennes. 362p. ISBN : 978-2-7535-3263-2.

MERLIN, P. (2009)
Essai de définition de l'urbanisme. Dans L'urbanisme. Presses Universitaires de France. p.3-4. ISBN : 9782130573920

MERLIN, P., **CHOAY**, F. (2009)
Dictionnaire de l'urbanisme. Presse Universitaires de France. Paris. 963p. ISBN : 978-2-13-063068-5

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DURABLE (2007)
Diagnostics du site. [En ligne] Consulté le 13 mai 2018 (http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Diagnostics_du_site-2.pdf)

MOLLER, A., **MULLER**, H.W., **ABDULLAH**, A., **ABDELGAWAD**, G., **UTERMANN**, J. (2005)
Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentration and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. Geoderma, 124. p.63-71.
DOI : 10.1016/j.geoderma.2004.04.003

MOON, J.W., **MOON**, H.S., **WOO**, N.C., **HAHN**, J.S., **WON**, J.S., **SON**, Y., **LIN**, X., **ZHAO**, Y. (1999)
Evaluation of heavy metal contamination and implication of multiple source from Hunchun basin, northeastern China. Environmental Geology, 39. p.1039-1052
(https://doi.org/10.1007/s002540000112)

MOREL, JL., **SCHWARTZ**, C. (1999)
Qualité et gestion des sols de jardins familiaux. Comptes rendus de L'académie d'Agriculture, 85, 2. p.103–114.

MOREL, JL., **SCHWARTZ**, C., **FLORENTIN**, L. (2005)
Urban soils. Encyclopedia of Soils in the Environment. p.202–208. ISBN-10 : 0123485304

MOREL, JL., **CHENU**, C., **LORENZ**, K. (2014)
Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). Journal of Soils and Sediments, 15, 8. p.1-8 (https://doi.org/10.1007/s11368-014-0926-0)

NEEL, C., **DELCOUR**, P., **DUMONT**, E. (2012)
Les indicateurs de qualités des sols existants sont-ils adaptés aux sols urbains ?. PSUR (Préservation des sols en milieu Urbain et Routier), Centre d'Études Techniques de l'Équipement, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. [En ligne] Consulté le 22 mars 2016 (http://actions-incitatives.ifsttar.fr/fileadmin/uploads/recherches/seminaires/)

NOIZET, H. (2013)
Fabrique urbaine. *In* Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Lévy, J. et Lussault, M. Belin. ISSN : 1278-3366

NORDSTROM, M., **SANDBERG**, A., **STAHLE**, A. (2003)
Le manuel des sociotopes (Sociotophandboken). 21p. [En ligne] Consulté le 20 août 2018 (http://www.jamstall.nu/wp-content/uploads/2014/02/Sociotophandboken.pdf)

NORRA, S., **STUBEN**, D. (2003).
Urban soils. Journal of Soils and Sediments, 3. p.230-233.

NORRA, S., **LANKA-PANDITHA**, M., **KRAMAR**, U., **STUBEN**, D. (2006)
Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany. Applied Geochemistry, 21. p.2064−2081. DOI : 10.1016/j.apgeochem.2006.06.014

PARISI, V., **MENTA**, C., **GARDI**, C., **JACOMINI**, C., **MOZZANICA**, E. (2005)
Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. Agricultural Ecosystem Environment, 105. p.323-333 (https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002)

PATAKI, D.E., **CARREIRO**, M.M., **CHERRIER**, J., **GRULKE**, N.E., **JENNINGS**, V., **PINCETL**, S., **POUYAT**, R.V., **WHITLOW**, T.H., **ZIPPERER**, W.C. (2011)
Coupling biogeochemical cycles in urban environments: Ecosystem services, green solutions, and misconceptions. Frontiers in Ecology and the Environment, 9. p.27-36
(https://doi.org/10.1890/090220)

PEIGNE, J., **GAUTRONNEAU**, Y., **VIAN** J-F., **ACHARD**, P., **CHIGNIER-RIBOULON**, M., **RUFFE**, L., **VASKOU**, C. (2016)
Test bêche, guide d'utilisation. Isara Lyon, 24p. [En ligne] Consulté le 8 août 2018 (http://orgprints.org/32099/1/peigne-etal-2016-GuideTestBeche-ISARA_Lyon.pdf)

PERES, G. (2003)
Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et la macro-bioporosité dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol. Thèse de doctorat. Université de Rennes. 266p.

PESSON, P. (1978)
Stabilité, diversité et maturité des écosystèmes : notions applicables aux sociétés humaines. Économie rurale, 127. p.4-6 (https://doi.org/10.3406/ecoru.1978.2580)

PHILIPOPONNAT, G., **HUBERT**, B. (1997)
Fondations et ouvrages en terre. Editeur Eyrolles. Collection Blanche. 576p. ISSN : 9782212072181.

POGGIO, G., **VRSCAJ**, B. (2009)
A GIS-based human health risk assessment for urban green space planning – An example from Grugliasco (Italy). Sciences of Total Environment, 15. p.5961-5970.
DOI : 10.1016/j.scitotenv.2009.08.026

POLLET, E. (2009)
Vademecum des sols hydromorphes. [En ligne] Consulté le 03 avril 2018 (http://www.zones-humides-pyrenees-centrales.fr/images/imagesFCK/file/vademecumsols.pdf)

POUYAT, R.V., **YESILONIS**, I.D., **NOWAK**, D.J. (2006)
Carbon Storage by Urban Soils in the United States. Journal of Environmental Quality. p. 1566-1575. DOI : 10.2134/jeq2005.0215

PREVOT-JULLIARD, A-C., **CLAVEL**, J. (2007)
Quelle nature en ville, un point de vue des biologistes, Réflexions sur les enjeux de la biodiversité urbaine. [En ligne] Consulté le 04 avril 2018
(http://www.parcs93.info/odbu/files/2009-02-25_p3_2006.pdf)

PREVOST, A. (2013)
Inférence(s) des documents d'urbanisme sur le territoire : modélisation multicritère et évaluation durable : application à la ville de Toulouse. Thèse de doctorat en Technologies cognitives, management de l'innovation et systèmes complexes - Systèmes urbains. Compiègne. 399p.

REMON, E., **BOUCHARDON**, J.L., **CORNIER**, B., **GUY**, B., **LECLERC**, J.C., **FAURE**, O (2005)
Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical landfill: Implications in risk assessment and site restoration. Environmental Pollution, 137. p.316-323. DOI : 10.1016/j.envpol.2005.01.012

REULIER, R., **DELAHAYE**, D., **CAILLAULT**, S., **VIEL**, V., **DOUVINET**, J., **BENSAID**, A. (2016)
Mesurer l'impact des entités linéaires paysagères sur les dynamiques spatiales du ruissellement : une approche par simulation multi-agents. Cybergeo : European Journal of Geography. DOI : 10.4000/cybergeo.27768. [En ligne] Consulté le 11 août 2018
(http://journals.openedition.org/cybergeo/27768)

REY, E. (2005)
Caractérisation de sols hétérogènes par des méthodes géophysiques. Thèse de doctorat. Université Joseph-Fourier - Grenoble I. 254p.

RIFKIN, J. (2012)
La facture entropique de l'âge industriel. *In* La troisième révolution industrielle. Rifkin, J. p.42. ISBN : 2-9185-9747-3

ROKIA, S., **SERE**, G., **SCHWARTZ**, C., **DEEB**, M., **FOURNIER**, F., **NEHLS**, T., **DAMAS**, O., **VIDAL-BEAUDET**, L. (2014)
Modelling agronomic properties of Technosols constructed with urban wastes. Waste Management, 34, 11. p.2155-2162. DOI : 10.1016/j.wasman.2013.12.016

ROSSIGNOL, J.P., **BAIZE**, D., **SCHWARTZ**, C. et **FLORENTIN**, L. (2008)
Référentiel pédologique français. *In* Anthroposols. Baize, D. et M.C. GIRARD. Quae Editions. Versailles. p.88-98.

ROUSSEAUX, F., **LONG**, N., **RENOUARD**, A. (2012)
Vers une simulation de l'évolution des structures urbaines à partir d'une modélisation multi-agents. VertigO. DOI : 10.4000/vertigo.11561

RUIZ, N., **MATHIEU**, J., **CELINI**, L., **ROLLARD**, C., **HOMMAY**, G., **IORIO**, E., **LAVELLE**, P. (2011)
IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-invertebrate communities. Soil Biology and Biochemistry, 43. p.2032-2045. DOI : 10.1016/j.soilbio.2011.05.019

SABY, N.P.A., **MARCHANT**, B.P., **LARK**, R.M., **JOLIVET**, C.C., **ARROUAYS**, D. (2011)
Robust geostatistical prediction of trace elements across France. Geoderma, 162. p.303–311. DOI : 10.1016/j.geoderma.2011.03.001

SAMOUELIAN, A., **CORNU**, S., **BURAND**, A., **RICHARD**, G. (2007)
Modélisation de l'évolution des sols liée à des processus hydrologiques et géochimiques. Etude et gestion des sols, 14, 3. p.195-204. ISSN : 1252-6851

SANTUROFO, L., **VAN GESTEL**, C.A.M., **ROCCO**, A., **MAISTO**, G. (2012)
Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. Environmental Pollution, 161. p.57-63. DOI : 10.1016/j.envpol.2011.09.042

SAUVAGE, C. (2006)
Optimisation de la fertilité d'un Anthroposol construit. Mémoire de fin d'étude. INH. 49p.

SCHARENBROCH, B.C., **LLOYD**, J.E., **JOHNSON-MAYNARD**, J.L. (2005)
Distinguishing urban soils with physical, chemical, and biological properties. Pedobiologia, 49. p.283-296. DOI : 10.1016/j.pedobi.2004.12.002

SCHINDELBECK, R.R., **VAN ES**, H.M., **ABAWI**, G.S., **WOLFE**, D.W., **WHITLOW**, T.L., **GUGINO**, B.K., **IDOWU**, O.J., **MOEBIUS-CLUNE**, B.N. (2008)
Comprehensive assessment of soil quality for landscape and urban management. Landscape and Urban Planning, 88. p.73-80 (https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.08.006)

SCHRODER, P., **BECKERS**, B., **DANIELS**, S., **GNADINGER**, F., **MAESTRI**, E., **MARMIROLI**, N., **MENCH**, M., **MILLAN**, R., **ORBERMEIER**, M.M., **OUSTRIERE**, N., **PERSSON**, T., **POSCHENRIEDER**, C., **RINEAU**, F., **RUTKOWSKA**, B., **SCHMID**, T., **SZULC**, W., **WITTERS**, N., **SAEBO**, A. (2017)
Intensify production, transform biomass to energy and novel goods and protect soils in Europe —A vision how to mobilize marginal lands. Science of the Total Environment, 616-617. p.1101-1123 (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.209)

SCHWARTZ, C. (2013)
Les sols de jardins, supports d'une agriculture urbaine intensive. VertigO, 15. [En ligne] Consulté le 20 avril 2017 (http://vertigo.revues.org/12858).

SHWARTZ, C., **FLORENTIN**, L., **CHARPENTIER**, D., **MUZIKA**, S., **MOREL**, JL. (2001a)
Le pédologue en milieux industriels et urbains - Sols d'une friche industrielle. Etude et Gestion des Sols, 8,2. p.135-148.

SCHWARTZ, C., **FLORENTIN**, L. **MOREL**, JL. (2005)
Définition et caractéristiques des sols urbains : intérêt d'une classification. Ecrin.

SCHWARTZ, C., **GERARD**, E., **PERRONNET**, K., **MOREL**, JL. (2001b)
Measurement of in situ phytoextraction of zinc by spontaneous metallophytes growing on a former smelter site. Science of the Total Environment, 279, 1-3. p.215-221. ISSN : 0048-9697

SECCHI, B., **VIGANO**, P. (2012)
La ville poreuse : Un projet pour le Grand Paris et la métropole de l'après-Kyoto. Édition MétisPresses. Paris. 296p. ISBN : 978-2-940406-56-2

SEIGNOBOS, C., **MOUKOURI-KUOH**, H. (2000)
Potentialités des sols et terroirs agricoles. *In* Atlas de la province extrême-nord Cameroun. Seignobos, C. et O. Iyébi-Mandjek. République du Cameroun. Minrest. p.77-81.

SERE, G. (2007)
Fonctionnement et évolution pédogénétique de Technosols issus d'un procédé de construction de sol. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 227p.

SERE G., **SCHWARTZ** C., **OUVARD** S., **RENAT** J.C., **WATTEAU** F., **MOREL** JL. (2010)
Early pedogenic evolution of constructed Technosol. Journal of Soils & Sediments, 10. p.1246-1254. DOI : 10.1007/s11368-010-0206-6

SETO, K.C., **GUNERALPA**, B., **HUTYRAC**, L.R. (2012)
Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109. p.16083-16088. DOI : 10.1073/pnas.1211658109.

SUMMER, E. (1999)
Handbook of soil science. CRC Press. 2148p. ISBN-10 : 0849331366

SMALL, E., **SADLER**, J.P., **TELFER**, M. (2006)
Do landscape factors affect brownfield carabid assemblages? Science of the Total Environment, 360. p.205-222. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2005.08.051

SOCARRAS, A. (2013)
Soil mesofauna: biological indicator of soil quality. Pastos y Forrajes, 36. p.14-21.

SOILSERV (2016)
Développer un programme de recherche sur l'évaluation biophysique et la prise en compte dans les décisions publiques des services écosystémiques des sols. Agence Nationale de Recherche (ANR-16-CE32-0005). [En ligne] Consulté le 11 mars 2018
(https://www6.inra.fr/soilserv/)

SOJKA, R.E., **UPCHURCH**, D.R. (1999)
Reservations regarding the soil quality concept. Soil Science Society of America Journal, 63. p.1039-1054.

SOUAMI, T. (2009)
Ecoquartiers : secrets de fabrication, analyse critique d'exemples européens. Les Carnets de l'info, Modes de villes. 208p. ISBN : 978-2-9166-2844-8

SPALTENSTEIN, H. (2015)
Eléments de pédologie, introduction à la pédogénèse. Les Editions du Net. 422p. ISBN : 978-2-312-04077-6

TARZIA, M., **DE VIVO**, B., **SOMMA**, R., **AYUSO**, R. A., **MACGILL**, R.A.R., **PARRISH**, R.R. (2002)
Anthropogenic vs. natural pollution: An environmental study of an industrial site under remediation (Naples, Italy). Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2. p.45-56
(https://doi.org/10.1144/1467-787302-006)

TAYLOR, J. (2017)
Enquête de satisfaction par sms : quels fonctionnements, quels avantages ? [En ligne] Consulté le 26 juillet 2018
(https://wizville.fr/blog/enquetes-de-satisfaction-sms-fonctionnement-avantages/)

TESSIER, D., **BRUAND**, A., **LE BISSONNAIS**, Y. (1996)
Qualité chimique et physique des sols : Variabilité spatiale et évolution. Etudes et Gestion des Sols, 3. p.229-244 (https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00118043)

TETEGAN, M., **NICOULLAUD**, B., **BAIZE**, D., **BOUTHIER**, A., **COUSIN**, I. (2011)
The contribution of rock fragments to the available water content of stony soils: proposition of new pedotransfer functions. Geoderma, 165. p.40-49
DOI : 10.1016/j.geoderma.2011.07.001

TETEGAN, M., **RICHER DE FORGES**, A., **VERNEQUE**, B., **NICOULLAUD**, B., **DESBOURDES**, C., **BOUTHIER**, A., **ARROUAYS**, D., **COUSIN**, I. (2015)
The effect of soil stoniness on the estimation of water rentention properties of soils : A case study from central France. Catena, 129. p.95-102. DOI : 10.1016/j.catena.2015.03.008

TINLAND, F. (1991)
Systèmes naturels, systèmes artificiels. Collection milieux. 256p. ISSN : 2.87673.111.8

TISDALL, J.M., **OADES**, J.M. (1982)
Organic matter and water stable aggregates in soil. Soil Science, 33. p.141-163 (https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x)

THORNTON, I. (1990)
Soil contamination in urban areas. Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology, 82. p.121-140 (https://doi.org/10.1016/S0031-0182(12)80026-5)

URBANEWS (2011)
Clip of Friday: densité. [En ligne] Consulté le 18 mars 2018 (https://www.urbanews.fr/2011/07/15/14746-clip-of-friday-le-pari-de-la-densification/)

URBAN SMS (2008)
Bodenmanagement-Stategie für städtische Räume. INTERREG IV B der Europäischen Union Programm. Zentraleuropäischer Kooperationsraum (Central Europe). [En ligne] Consulté le 6 février 2016 (http://www.stuttgart.de/item/show/391164)

UQUALISOL-ZU (2008)
Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine - application du bassin minier de Provence. Programme ADEME GESSOL. [En ligne] Consulté le 11 mars 2016 (http://www.gessol.fr/content/preconisation-d-utilisation-des-sols-et-qualite-des-sols-en-zone-urbaine-et-peri-urbaine-app)

VANHEE, B., **SALMON**, S., **DEVIGNE**, C., **LEPRETRE**, A., **DEHARVENG**, L., **PONGE**, J.F. (2017)
The "terril" effect: Coal mine spoil tips select for collembolan functional traits in post-mining landscapes of northern France. Applied Soil Ecology, 121. p.90-101 (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01600784)

VELAZQUEZ, E., **LAVELLE**, P., **ANDRADE**, M. (2007)
GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. Soil Biolology and Biochemistry, 39. p.3066-3080. DOI : 10.1016/j.soilbio.2007.06.013

VERHAGE R. (2002)
Local policy for housing development: European experiences. Ashgate Pub Ltd. 304p. ISBN-10 : 0754618242

VERHAGE, R., **LEROY**, M. (2014)
Développement urbain durable : Comment apprendre des expériences d'écoquartiers ? Géocarrefour, 89/4. p.235-245. DOI : 10.4000/geocarrefour.9558

VESCHAMBRE, V. (2007)
Patrimoine : un objet révélateur des évolutions de la géographie et de sa place dans les sciences sociales. Annales de géographie, 656. p.361-381. DOI : 10.3917/ag.656.0361

VINCENT, Q. (2018)
Etude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 329 p.

VITOUSEK, P.M., **MOONEY**, H.A., **LUBCHENCO**, J., **MELILLO**, J.M. (1997)
Human domination of earth's ecosystems. Science, 277. p.494-499. DOI : 10.1126/science.277.5325.494

VRŠČAJ, B., **POGGIO**, L., **MARSAN**, F.A. (2008)
A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. Landscape and Urban Planning, 88. p.81-94. DOI : 10.1016/j.landurbplan.2008.08.002

WALTER, C., **BISPO**, A., **CHENU**, C., **LANGLAIS-HESSE**, A., **SCHWARTZ**, C. (2014)
Les services écosystémiques des sols : du concept à sa valorisation. Cahier Demeter. p.51-68.

WILLIAMS, A., **HEDLUND**, K. (2014)
Indicators and trade-offs of ecosystem services in agricultural soils along a landscape heterogeneity gradient. Applied Soil Ecology, 77. p.1-8. DOI : 10.1016/j.apsoil.2014.01.001

WHEELER, S., **BEATLEY**, T. (2014)
The sustainable urban development reader. Routledge. Taylor and Francis Group. London. 612p. ISBN-10 : 041531187X

Annexes

Annexe 1 : Liste des 20 aires urbaines considérées pour l'analyse lexicale des documents d'urbanisme

Aires urbaines	Population municipale (2013)	Nombre de communes
Paris	12 405 426	1 794
Lyon	2 237 676	511
Marseille – Aix en Provence	1 734 277	90
Toulouse	1 291 517	453
Bordeaux	1 178 335	255
Lille	1 175 828	125
Nice	1 004 826	129
Nantes	908 815	114
Strasbourg	773 447	267
Rennes	700 675	190
Grenoble	684 398	197
Rouen	660 256	293
Toulon	611 978	40
Montpellier	579 401	116
Douai – Lens	539 332	103
Avignon	518 981	97
Saint-Etienne	515 240	117
Tours	487 023	144
Clermont-Ferrand	472 943	185
Nancy	432 788	285

Annexe 2 : Liste des unités urbaines des trois métropoles (*e.g.* MGN, MAMP, NM) considérées pour l'analyse lexicale des plans locaux d'urbanisme

MGN	MAMP	NM
Nancy	Marseille	Nantes
Vandœuvre-lès-Nancy	Marignane	Saint-Herblain
Laxou	La Ciotat	Carquefou
Villers-lès-Nancy	Châteauneuf-les-Martigues	Vertou
Laneuveville-devant-Nancy	Allauch	Bougenais
Tomblaine	Septèmes-les-Vallons	Rezé
Maxéville	Gignac-la-Nerthe	La Chapelle-sur-Erdre
Liverdun	Cassis	Orvault
Essey-lès-Nancy	Ensuès-la-Redonne	Saint-Sébastien-sur-Loire
Malzéville	Gémenos	Couëron
Heillecourt	Carry-le-Rouet	Sainte-Luce-sur-Loire
Bouxières-aux-Dames	Sausset-les-Pins	Basse-Goulaine
Jarville-la-Malgrange	Ceyreste	Bouaye
Saint-Max	Saint-Victoret	Sautron
Seichamps	Plan-de-Cuques	Saint-Aignan-Grandlieu
Houdemont	Carnoux-en-Provence	Les Sorinieres
Saulxures-lès-Nancy	Rove	Thouare-sur-Loire
Dommartemont	Roquefort-la-Bedoule	Le Pellerin
		Saint-Jean-de-Boiseau
		La Montagne
		Indre
		Mauves-sur-Loire
		Saint-Leger-les-Vignes
		Brains

Annexe 3 : Exemple de fiche synthétique de présentation d'un projet urbain

1 ECOQUARTIER, BIANCAMARIA

Le projet

Le développement de l'EcoQuartier Biancamaria aux limites des communes de Vandoeuvre-lès-Nancy et Nancy s'inscrit dans un **projet de reconversion d'anciens sites militaires et de requalification d'entrée de ville.**

Plan de phasage du projet - Ville de Vandoeuvre-lès-Nancy

Localisation du projet dans le Grand Nancy

Superficie	9,3 hectares
Opération	ZAC EcoQuartier
Zonage PLU	UR - zone concernée par un aléa faible de retrait-gonflement des argiles
Calendrier	2007 - ?
Budget	13,5 millions d'euros

La programmation

La définition du programme prévoit la construction de :
- 680 logements (75% collectifs, 20% intermédiaires et 5% individuels) et 170 logements sociaux ;
- 8000 m² de SHON dédiés aux activités ;
- un parc urbain de 12000 m²

Plan masse du projet - Ville de Vandoeuvre-lès-Nancy

Les acteurs

Maitrise d'ouvrage	Grand Nancy Métropole
Aménageurs	Solorem
Maitrise d'oeuvre	Agence Verdier-Tappia (urbaniste mandataire) ; Linder paysage (paysagiste) ; Sefiba (infrastructure) ; BEPG (environnement-eau)

2 Les objectifs

Le projet vise à offrir aux habitants un **quartier socialement accessible**, où le lien et la cohésion sociale sont renforcés, organisant une **vie de proximité autour d'un parc infiltré** permettant un bon **développement de la biodiversité**. Son ambition est de privilégier une insertion fine du projet au **contexte local**. Une **optimisation** de l'ensemble des critères de performance **urbaine, sociale, économique et environnementale** a ainsi été recherchée entre les différents partenaires et **est imposée aux futurs constructeurs.**

Visuel extérieur - Studiolada

Visuel extérieur - Bouygues Immobilier

L'opération s'articule autour d'une double stratégie de projet :
- transformer l'ensemble du secteur en une **entrée de ville urbaine et attractive** ;
- créer un véritable quartier habité (680 logements à terme), de **grande qualité environnementale**, s'inscrivant dans la **continuité des différentes trames architecturales et paysagères existantes**.

Le **parc infiltré et linéaire de 12 000 m²** Jean et Henri Prouvé est **réalisé en amont** afin de garantir un cadre de vie agréable aux futurs habitants, dès leur emménagement. Il prend en compte les **arbres et espaces naturels existants** de qualité ; il assure l'**infiltration des eaux pluviales** et constitue également un **support aux déplacements doux**. Enfin, il s'infiltre vers les parcelles privées qui ont des obligations de **maintien en pleine terre** pour la plantation d'arbres de haute tige.

Parc infiltré de Biancamaria - Ville de Vandoeuvre-lès-Nancy

Les services attendus

Régulation

Régulation de la qualité de l'air
Traitement des déchêts
Purification de l'eau
Régulation des aléas naturels

Culturel

Conservation du patrimoine et de l'existant
Agrément de l'environnement
Liens sociaux entre les habitants et usagers

Approvisionnement

Approvisionnement en aliments
Fourniture d'énergie (biomasse)
Ressources ornementales
Approvisionnement en eau
Support d'habitat pour la faune
Support physique d'infrastructures
Support d'activités humaines

3 L'occupation des sols

Photographie aérienne en 2002 - Géoportail

Le projet d'EcoQuartier Biancamaria prend place sur un ancien **site militaire**, en témoignent la présence des casernes Faron et Drouot. On note également la présence d'anciens **manèges à chevaux**. Enfin, le dernier élément remarquable concernant l'occupation passée du sol est la présence au nord-est de la parcelle de l'ancien **garage Peugeot**, jusqu'à la fin des années 2000.

Au moment de l'échantillonnage, la parcelle est une friche urbaine, dont l'occupation du sol varie : **herbacées et graminées**, **arbres**, arbustes et **sols «nus»** à certains endroits.

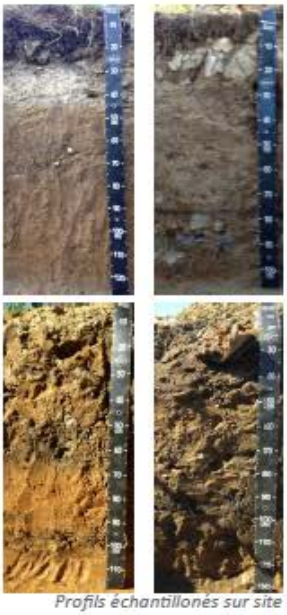
La qualité des sols en place

La campagne descriptive sur site permet de rendre compte d'une **grande diversité de sols** sur les 3 hectares de la parcelle où nous avons pu intervenir, comme en témoignent les 4 profils ci-contre. De manière générale, on distingue un **premier horizon** de 15 à 30 cm d'épaisseur, de texture plutôt sablo-argileuse, dont l'activité biologique varie en fonction de la couverture du sol. Il correspond à des remblais ou, à certains endroits, une couche de terre végétale (amenée sur site). Les **horizons sous-jacents** sont très hétérogènes d'un profil à l'autre et leur épaisseur varie de quelques centimètres jusqu'à parfois 60 cm. Pour la plupart, ils ont une structure compacte et une texture argilo-sableuse. L'activité biologique y est généralement faible. On y trouve de nombreux éléments grossiers (gravats, calcaires, pavés, charbon, galets, déchets ménagers), témoins d'une activité humaine passée.

Déchets humains

Le **dernier horizon**, que l'on retrouve à une centaine de centimètres de profondeur, présente une texture plutôt argileuse et une compacité élevée. Il n'apparait pas de traces d'activité biologique au sein de cet horizon, mais des traces d'hydromorphie sont perceptibles.

D'un point de vue de la **valorisation des matériaux en place**, le premier horizon des profils A et B est apte à accueillir une végétation. Quelques horizons intermédiaires des profils A, B et C peuvent être valorisés en géotechnique. Les autres horizons ne peuvent être valorisables en l'état.



Profils échantillonés sur site (de gauche à droite et de haut en bas) : A, B, C, D

Les services potentiels

Régulation

- Régulation du climat local
- Régulation des inondations
- Régulation de l'érosion
- Régulation de la biodiversité

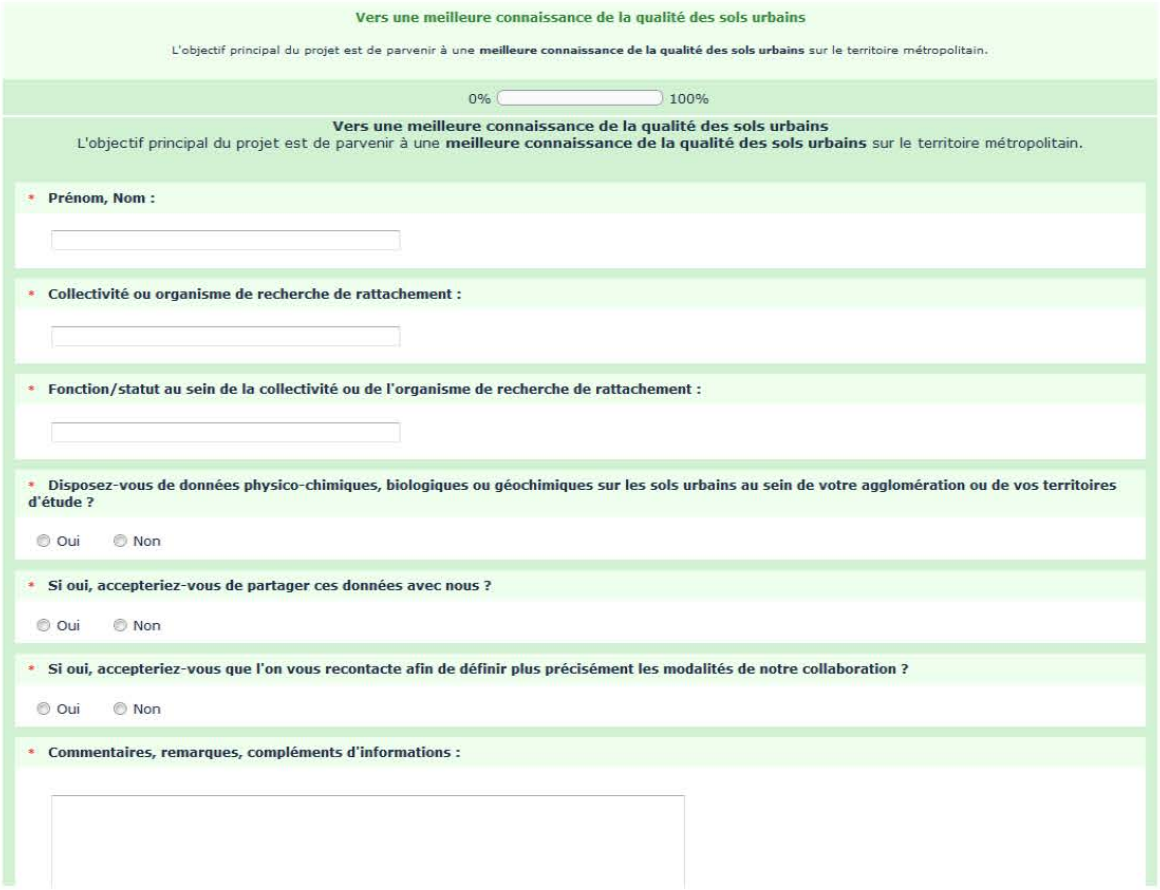
Approvisionnement

- Production de biomasse
- Support herbacées
- Support arbustes
- Support arbres

Culturel

- Loisirs
- Histoire

<u>Annexe 4</u> : Sondage envoyé aux acteurs de l'aménagement du territoire contactés dans le cadre de l'enquête nationale au sujet de la mise à disponibilité de données sur les sols urbains et de la considération des sols urbains dans leurs pratiques professionnelles – Travail en collaboration avec A. Cambou et B. Sauvaget



Vers une meilleure connaissance de la qualité des sols urbains

L'objectif principal du projet est de parvenir à une **meilleure connaissance de la qualité des sols urbains** sur le territoire métropolitain.

0% 100%

Vers une meilleure connaissance de la qualité des sols urbains
L'objectif principal du projet est de parvenir à une **meilleure connaissance de la qualité des sols urbains** sur le territoire métropolitain.

* **Prénom, Nom :**

* **Collectivité ou organisme de recherche de rattachement :**

* **Fonction/statut au sein de la collectivité ou de l'organisme de recherche de rattachement :**

* **Disposez-vous de données physico-chimiques, biologiques ou géochimiques sur les sols urbains au sein de votre agglomération ou de vos territoires d'étude ?**

Oui Non

* **Si oui, accepteriez-vous de partager ces données avec nous ?**

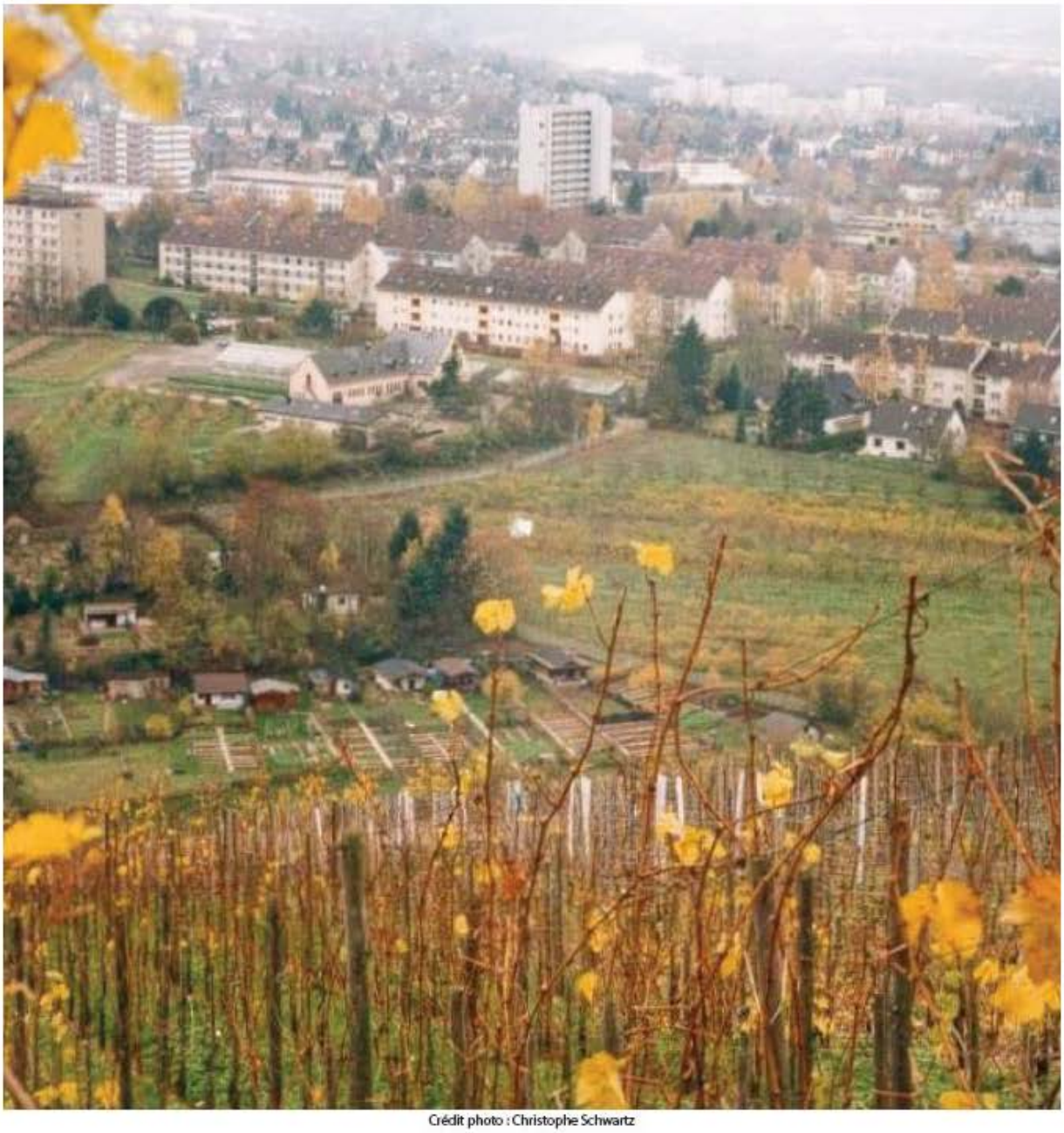
Oui Non

* **Si oui, accepteriez-vous que l'on vous recontacte afin de définir plus précisément les modalités de notre collaboration ?**

Oui Non

* **Commentaires, remarques, compléments d'informations :**

Annexe 5 : Plaquette d'information envoyée aux acteurs de l'aménagement du territoire contactés dans le cadre de l'enquête nationale au sujet de la mise à disponibilité de données sur les sols urbains et de la considération des sols urbains dans leurs pratiques professionnelles – Travail en collaboration avec A. Cambou et B. Sauvaget



Crédit photo : Christophe Schwartz

SOLS URBAINS ET PROJETS D'AMÉNAGEMENT

VERS UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DE LA QUALITÉ DES SOLS URBAINS

ADEME

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

INRA

LABORATOIRE SOLS ET ENVIRONNEMENT

brgm

IUAR

Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional Aix - Marseille

MINES ParisTech

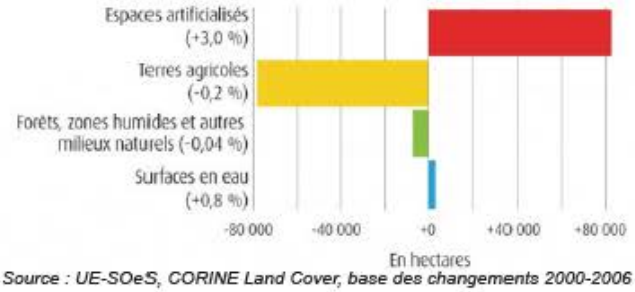
AGRO CAMPUS OUEST

PAYS DE LA LOIRE

La Région Lorraine

CONTEXTE

Solde des évolutions de l'occupation des sols entre 2000 et 2006, en France métropolitaine



Source : UE-SOeS, CORINE Land Cover, base des changements 2000-2006

L'urbanisation est un phénomène croissant, prenant une place prépondérante dans les changements globaux à l'échelle de la planète. Dans les pays en développement, les taux de croissance urbaine sont particulièrement intenses : aujourd'hui, 54% de la population mondiale vit dans des zones urbaines (ONU, 2014). Selon l'organisation des Nations Unies, ce taux devrait passer à 66 % en 2050 (ONU, 2014). En France, 77,5 % de la population vivait dans les zones urbaines en 2010 (INSEE, 2011). Selon l'INSEE, aujourd'hui, les villes occupent 21,8 % du territoire, soit une augmentation de 19 % en dix ans (INSEE, 2010). Le phénomène d'urbanisation est la principale cause de changement d'affectation des sols à ce jour, aux dépens des terres agricoles principalement.

Cependant, bien que le sol soit progressivement reconnu comme une ressource vitale et menacée par les activités humaines, le fonctionnement des sols urbains est encore trop méconnu et les projets d'aménagement des villes gardent une vision en deux dimensions de cette ressource.

Il est donc nécessaire d'approfondir nos connaissances sur les caractéristiques des sols urbains afin de les préserver, voire de les restaurer et ainsi leur permettre d'assurer leurs fonctions et leurs services utiles au bien-être des Hommes.

OBJECTIFS PRINCIPAUX

- **Améliorer les connaissances en agronomie, en pédologie et en géochimie** sur les sols urbains
- **Améliorer les connaissances sur la qualité chimique des sols et proches sous-sols urbains, hors pollutions ponctuelles,** en transposant des méthodes géostatistiques du domaine minier au milieu urbain
- **Répondre aux enjeux de la ville durable** de demain en orientant l'usage des sols urbains végétalisés ou potentiellement végétalisés en amont des programmes d'aménagement urbain et de planification territoriale
- **Améliorer les connaissances sur la contribution des sols urbains** à l'atténuation du changement climatique par la séquestration du carbone

DONNÉES NÉCESSAIRES POUR LES TERRES ÉCHANTILLONNÉES

Tout ou partie des données suivantes sont nécessaires dans le cadre de notre démarche :

- **dates et lieux d'échantillonnages et données descriptives de l'environnement** (par exemple : végétation, infrastructures, degré d'imperméabilisation)

- **caractéristiques de chaque échantillon**
:
- **« matériels et méthodes » pour chaque paramètre déterminé : matériel utilisé** pour l'échantillonnage, mode de préparation, méthode de détermination, opérateur

- profondeur considérée

- paramètres physico-chimiques, voire biologiques

- description des profils de sol, si disponible

Toute information complémentaire sera la bienvenue.

Crédit photo : Christophe Schwartz

Le succès de ce projet repose sur **l'acquisition de données concernant les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols urbains français**

VOTRE CONTRIBUTION EST DONC NÉCESSAIRE !

TROIS THÈSES

Trois thèses co-financées par l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME), s'articulent autour des sols urbains afin d'apporter de nouvelles connaissances et de proposer des solutions amenant à leur meilleure gestion.

ANNE BLANCHART

Encadrants : Christophe Schwartz, Geoffroy Séré, Jean Noël Consalès

La thèse menée par Anne Blanchart au sein du **Laboratoire Sols et Environnement (INRA/Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy)** et de **l'Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional (Aix-Marseille)** est une thèse co-financée par la Région Lorraine. Elle vise à enrichir les connaissances en agronomie des sols urbains végétalisés et potentiellement végétalisés et à évaluer les services écosystémiques rendus par ces sols, en vue de leur prise en compte en amont des projets d'aménagement.

S'insérant dans une logique de confrontation de l'héritage des politiques de planification, dites de « zonage » avec des enjeux du développement durable et des attentes sociales de plus en plus accrus, l'objectif final de la thèse sera de proposer un outil aux acteurs du territoire afin de les aider dans l'orientation de l'usage des sols urbains.

AURELIE CAMBOU

Encadrants : Laure Vidal-Beaudet, Patrice Cannavo, Christophe Schwartz

La thèse menée par Aurélie Cambou au sein de **l'unité EPHor (AgroCampus Ouest, Centre d'Angers)** et du **Laboratoire Sols et Environnement (INRA/Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy)**, est une thèse co-financée par la Région Pays de la Loire. Elle se concentre sur la séquestration du carbone organique dans les sols urbains. De manière plus précise, ce projet a pour objectif de mieux comprendre la contribution des sols urbains à l'atténuation du changement climatique avec l'évaluation de la dynamique du carbone organique et ses conséquences sur le bilan de gaz à effet de serre.

L'un des objectifs de cette thèse est notamment de proposer un modèle conceptuel de la dynamique du carbone organique dans les sols urbains. L'adaptation d'un modèle de simulation préexistant nous permettra également de tester différents scénarios (changement climatique, etc.).

BAPTISTE SAUVAGET

Encadrants : Chantal de Fouquet, Cécile le Guern

La thèse menée par Baptiste Sauvaget au sein de la **Direction Régionales des Pays de la Loire du BRGM (Nantes)** et du **Centre de Géosciences de Mines ParisTech (Fontainebleau)**, a pour finalité la constitution de référentiels de qualité géochimique des sols et proches sous-sols urbains, en dehors de pollutions ponctuelles. Ces référentiels pourront être utiles pour l'aménagement urbain, les informations acquéreur/locataire, des aspects sanitaires et la gestion des sites et sols pollués, et représentent ainsi un enjeu économique majeur.

L'objectif de la thèse est de définir une méthodologie permettant d'élaborer de tels référentiels, par une approche originale s'appuyant sur un maximum de données déjà disponibles sur les caractéristiques des sols et proches sous-sols urbains (descriptions, répartition), et leur qualité chimique.

CONTACTS

Anne Blanchart
anne.blanchart@univ-lorraine.fr

Aurélie Cambou
aurelie.cambou@agrocampus-ouest.fr

Baptiste Sauvaget
b.sauvaget@brgm.fr

ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie — Université de Lorraine — INRA — Laboratoire Sols et Environnement — brgm — IUAR Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional Aix-Marseille — MINES ParisTech — AGRO CAMPUS OUEST — Région Pays de la Loire — La Région Lorraine

Annexe 6 : Grille d'entretien effectué avec les acteurs de l'urbanisme de projet des trois métropoles (*e.g.* MGN, MAMP, NM)

1ère partie : informations générales sur l'enquêté(e)

1.1. Nom, prénom :
1.2. Structure de rattachement :
1.3. Fonction au sein de cette structure :
1.4. Vous répondez à ce questionnaire en qualité de commanditaire ? Concepteur ? Entrepreneur ?

2ème partie : définition du sol

2.1. Quelle définition donneriez-vous au « sol » ?
2.2. En général, quelles sont pour vous les limites du sol dans l'espace ? Distinguez-vous sol et matériau géologique ? Si oui, comment ?

3ème partie : considération apportée au sol

Les questions suivantes (3.1. à 3.14) sont réservées aux commanditaires (commandent le projet)

3.1. Lorsque vous décidez de la commande d'un ouvrage, la question de la qualité des sols du futur site du projet a-t-elle une importance pour vous ?
3.2. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?
3.3. Si non pourquoi cette sensibilité n'existe pas (*e.g.* manque de temps, d'argent, prise de parti) ?
3.4. De manière générale, le groupement de maitrise d'œuvre décidé pour le projet est-il pluridisciplinaire ?
3.5. En fonction du contexte du projet et de son emplacement, vous arrive-t-il de vous associer à une assistance à maitrise d'ouvrage qui dispose de compétences en agronomie ou pédologie ?
3.6. De la même manière, vous arrive-t-il d'imposer au groupement de maitrise d'œuvre d'avoir des compétences en agronomie ou pédologie ?
3.7. Lorsque le site du projet a été choisi, prenez-vous connaissance de l'existence ou non d'études relatives aux sols (*e.g.* géologie, topographie, pédologie) ?
3.8. Lorsque le site du projet a été choisi, quelles sont les études auxquelles vous importez de l'importance (*e.g.* pollution, portance, fertilité) ?
3.9. Lorsque le site du projet a été choisi, trouvez-vous utile de réaliser des analyses agronomiques sur site afin d'avoir une connaissance de la qualité des sols en place (*e.g.* fertilité, infiltration d'eau, réservoir de biodiversité) ?
3.10. Si vous avez déjà été confronté à la situation, à quelle phase du projet l'intervention d'experts a-t-elle eue lieu ?
3.11. Durant toute la dynamique du projet, prenez-vous connaissance des problématiques qui peuvent se poser en termes de gestion du sol sur site ?
3.12. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?
3.13. De manière générale, encouragez-vous la réutilisation sur place des sols afin de limiter les apports et exports de matériaux ?
3.14. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?
3.15. De manière générale, introduisez-vous dans les CCTP des mentions sur les efforts de valorisation des matériaux terreux exportés (*e.g.* terre végétale, matériaux de remblais) ?
3.16. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?

Les questions suivantes (3.15. à 3.34) sont réservées aux concepteurs (dessinent le projet + aménageurs)

3.17. De manière générale, dans le groupement de la maitrise d'œuvre, la question de la qualité des sols du site du projet a-t-elle une importance ?
3.18. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?

3.19. Si non pourquoi cette sensibilité n'existe pas (*e.g.* manque de temps, d'argent, prise de parti) ?
3.20. Quand il existe, cet intérêt de la qualité des sols est-il traduit dans les livrables du projet ?
3.21. Vous arrive-t-il de travailler avec des agronomes et pédologues ?
3.22. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cette interdisciplinarité ?
3.23. Si oui, lors de quelle(s) phase(s) du projet leurs compétences interviennent-elles ?
3.24. Lorsque le site du projet a été choisi, prenez-vous connaissance de l'existence ou non d'études relatives aux sols (*e.g.* géologie, topographie, pédologie) ?
3.25. Lorsque le site du projet a été choisi, quelles sont les études auxquelles vous importez de l'importance (*e.g.* pollution, portance, fertilité) ?
3.26. Complétez-vous ces études en faisant des études sur l'historique du sol en place sur le périmètre du projet et aux alentours ?
3.27. Si oui, quels types d'études est-ce ?
3.28. Les grands conclusions de ces études sont-elles présentées dans les livrables du projet ?
3.29. Trouvez-vous utile de réaliser des analyses agronomiques sur site afin d'avoir une connaissance de la qualité des sols en place ?
3.30. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?
3.31. Si vous avez déjà été confronté à la situation, à quelle phase du projet l'intervention d'experts a-t-elle eue lieu ?
3.32. Durant toute la dynamique du chantier, accordez-vous un intérêt à la gestion du sol sur site ?
3.33. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?
3.34. De manière générale, encouragez-vous la réutilisation sur place des sols afin de limiter les apports et exports de matériaux ?
3.35. Si oui, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?
3.36. Quels sont les critères pour apprécier la nécessité de l'apport de matériaux terreux ? Qui décide de la source d'approvisionnement ?
3.37. Sur quels critères appréciez-vous les potentialités des matériaux terreux lors de leur réception ? Il y a-t-il une évaluation de ces matériaux ?
3.38. Quels sont les critères pour apprécier la nécessité d'une excavation de terre ? De la destination de la terre ? Qui décide de sa destination ?
3.39. De manière générale, lorsque des exports de matériaux sont nécessaires, trouvez-vous que ces matériaux terreux sont valorisés (*e.g.* terre végétale, matériaux de remblais) et respecter dans leur nature ?
3.40. Sur quels critères appréciez-vous les potentialités des matériaux terreux pour une valorisation hors site ? Il y a-t-il une évaluation de ces matériaux ?
3.41. A votre avis quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?

Les questions suivantes (3.35. à 3.46) sont réservées aux entrepreneurs (« construisent » le projet)

3.42. De manière générale, trouvez-vous que la question de la qualité des sols sur site a une importance dans vos chantiers ?
3.43. Si oui, à votre avis, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?
3.44. Si non pourquoi à votre avis cette sensibilité n'existe pas (*e.g.* manque de temps, d'argent, volonté de la MOA, MOE) ?
3.45. Vous est-il arrivé de rencontrer des agronomes et pédologues venant réaliser des analyses de sols sur les chantiers ?
3.46. Si oui, les résultats de leurs études vous intéressent-ils ? Pourquoi ?
3.47. Si oui, à quelle phase du projet intervenaient-ils ?
3.48. La maitrise d'ouvrage ou la maitrise d'œuvre donnent-elles des contraintes en termes de gestion des sols sur le chantier ?
3.49. Si oui, de quelles natures sont-elles ? Pouvez-vous donner des exemples ?
3.50. De manière générale, trouvez-vous qu'il y a une volonté de réutilisation sur site des sols en place, afin de limiter les apports et exports de matériaux ?
3.51. Si oui, à votre avis quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?

3.52. Quels sont les critères pour apprécier la nécessité de l'apport de matériaux terreux ? Qui décide de la source d'approvisionnement ?
3.53. Sur quels critères appréciez-vous les potentialités des matériaux terreux lors de leur réception ? Il y a-t-il une évaluation de ces matériaux ?
3.54. Quels sont les critères pour apprécier la nécessité d'une excavation de terre ? De la destination de la terre ? Qui décide de sa destination ?
3.55. De manière générale, lorsque des exports de matériaux sont nécessaires, trouvez-vous que ces matériaux terreux sont valorisés (*e.g.* terre végétale, matériaux de remblais) et respecter dans leur nature ?
3.56. Sur quels critères appréciez-vous les potentialités des matériaux terreux pour une valorisation hors site ? Il y a-t-il une évaluation de ces matériaux ?
3.57. A votre avis quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?

4ème partie : développement de l'outil d'aide à la décision

4.1. Au même titre qu'il existe des analyses de pollution sur les sites urbains avant la définition des projets d'aménagement, seriez-vous pour que ces analyses soient couplées avec des analyses agronomiques ?
4.2. Si oui, accepteriez-vous que les résultats de ces analyses influencent le plan masse du projet dessiné par la maitrise d'œuvre ?
4.3. Selon vous, quelle serait la phase du projet où ces analyses auraient le plus d'intérêt ? A quel moment amener des informations sur les sols dans le projet et quels types d'informations ?
4.4. J'essaie de développer dans le cadre de mon doctorat un outil d'aide à la décision à l'attention des aménageurs afin d'encourager et de faciliter la prise en compte de la qualité du sol dans les projets urbains. A votre avis, cet outil devrait-il être un nouvel outil ou devrait-il s'agréger à un outil déjà existant ?
4.5. A votre, avis, quelles seraient les motivations pour effectivement utiliser cet outil ? Et les freins ?
4.6. A votre avis, cet outil devrait-il être un outil très opérationnel à destination des acteurs de l'aménagement ou en premier temps un outil de sensibilisation à destination des élus ?

Annexe 7 : Retranscription des entretiens effectués avec les acteurs de l'urbanisme opérationnel des trois Métropoles (*e.g.* MGN, MAMP, NM)

Entretien avec MOA – sites MGN – B, PH, HC (22.03.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

MGN - B : élément de la croûte terrestre, c'est mon côté géographe ! Avec toutes ses richesses, et qui fait qu'on se développe sur le territoire, enfin que l'Homme recherche justement les sols les plus riches, soit pour l'eau, soit pour la nourriture, culture…

MGN - PH : l'Homme recherche le sol le plus adapté aux espaces souhaités.

MGN - B : Oui, voilà, la migration humaine s'est faite sur des sols justement qui favorisent la vie.

MGN - PH : mais bon sur nos sites, on part du sol en voyant sa qualité, en voyant ce qu'il peut apporter, sa capacité de drainage, d'infiltration, des nutriments qu'il peut apporter. En fonction de cette qualité à tout point de vue, et bien on définit les essences à développer.

MGN - HC : alors effectivement sur les projets urbains il y a plusieurs approches. Il y a l'approche qui est plutôt lié au PLUi, à la politique de développement urbain, d'étalement urbain, de protection de certains sites mais au regard de la qualité paysagère de zones protégées, de la volonté de ne pas faire trop d'étalement urbain. Donc c'est une approche qui n'est pas liée à la qualité du sol mais qui est liée à la qualité géographique, paysagère, donc qui est liée indirectement à la qualité du sol. Dans ce cadre-là, il y a des études sur la biodiversité qui se renforcent beaucoup aujourd'hui, avec une vraie étude trame verte et

bleue qui intègre le PLUi et qui n'existe pas avant, donc l'écologie urbaine d'une manière générale est beaucoup mieux prise en compte, notamment au travers du PLUi que l'on est en train de constituer, on a une connaissance plus précise du sol… On a aussi des études de pollution. Par exemple sur Biancamaria, qui était un site, un ancien centre équestre mais qui servait de… il y avait des stands de tirs sur certaines parties, qui servaient de… Donc il y a eu de la dépollution avec l'armée mais qui était liée plutôt à des risques de balles, de cartouches, de choses comme ça. Donc on a une connaissance historique et par mesure de la pollution, la qualité de nos sols, à partir des études d'impact. Ensuite quand les projets se précisent, en fonction des endroits, ça peut être lié à la pollution. Il y a des sites sur lesquels le projet urbain né en partie de la pollution. Il y a certains sites on sait qu'il ne vaut mieux pas toucher car si on touche il faut traiter. Donc un projet urbain peut s'adapter aux connaissances de la pollution, de la qualité des sols. Mais de la qualité des risques aussi. La qualité des sols on la recherche aussi par rapport au risque d'immersion par exemple, comme sur le site du quartier des rives de Meurthe. Le quartier de la gare par exemple et bien on sait que l'on a des schistes, donc c'est un peu compliqué, il faut aller se fonder un peu plus profond. Donc on a aussi cette dimension liée aux constructions qui fait qu'on a des études de sol pour connaitre leur nature et savoir jusqu'où il faut fonder, donc des études géotechniques. Après, quand on avance un peu, qu'on sait où est-ce qu'on aura des jardins notamment, des espaces verts, et bien en général on demande dans nos consultations qu'il y ait un urbaniste et un paysagiste en général. Et le paysagiste peut demander ou faire des études de sols. Et puis habituellement quand on fait un jardin et bien on amène de la bonne terre, quand on a analysé que la terre n'était pas assez bonne pour faire un jardin et nos plantations par rapport à ce qu'on veut y planter. Donc il y a des analyses de sol ou si nécessaire, et souvent c'est nécessaire, on ramène de la bonne terre plus propice aux plantations. Peut-être que Christophe peut être plus précis que moi sur ces notions-là. Voilà en gros la chaine de notre connaissance du sol.

MGN - B : ce qu'il faut retenir de ça c'est que l'on fait quand même attention au sol, il y a quand même des études de sol. Peut-être dans la planification c'est moins visible, mais quand on lance le projet urbain, il y a quand même en amont des études de sol, voir un peu comment le projet peut se développer, où on va mettre de l'habitat, la partie paysagère. Regarder un peu le milieu dans lequel on va insérer le projet urbain, quand même. Aujourd'hui, les équipes sont souvent pluridisciplinaires. Il y a quand même des écologues, des paysagistes, où on intègre quand même beaucoup tout ce qui est études des eaux pluviales. On a pas mal de paramètres. On a finalement des palettes végétales qui s'adaptent au milieu dans lequel on va développer cette zone.

MGN - HC : j'ai oublié effectivement le côté infiltration, le travail que l'on fait avec l'agence de l'eau, qui d'ailleurs on a régulièrement sur nos projets des subventions, des aides, car on a dans nos projets des solution innovantes sur nos éco quartiers ou même sur nos ZAC qui ne sont pas des éco quartiers. Des solutions innovantes pour contenir, infiltrer doucement, évaporer. Donc on a de plus en plus sur tous nos projets maintenant des espaces de rétention, pour ne pas infiltrer trop vite de trio grandes quantités d'eaux pluviales. Donc le traitement des eaux pluviales c'est aussi une dimension importante.

MGN - B : aussi par rapport à des préoccupations existantes. Pour la Haie Cerlin c'était des prairies agricoles, des vergers, donc il y a eu des études pour voir un peu la qualité du sol, pour préserver justement certains vergers. Même si les enjeux n'étaient pas très forts au niveau occupation, il y a quand même eu cette sensibilité-là.

2. **Quand vous parlez des études que vous faites en amont pour connaitre mieux le sol, comme les études d'impact, de biodiversité, etc., qui fait ces études ?**

MGN - B : bah ce sont des bureaux d'études spécialisés. On ne fait rien en interne. Il y a des études géotechniques. Après quand on a le projet, enfin en amont… Quand on a grossièrement un projet et que l'on sait que l'on doit construire tant de logements, etc. mais que des objectifs qui sont liés à d'autres politiques hein… Nous par exemple sur la Haie Cerlin, c'était la construction, enfin la commune était en déficit de logements sociaux et il n'y avait pas la possibilité de renouveler directement sur la commune. Du coup il y a une extension urbaine sur la parcelle agricole. Du coup il y a des études géotechniques qui ont été faites, donc grossièrement, et après quand on fait les opérations et bien on fait des sondages plus

précis. D'ailleurs on a même eu des fouilles archéologiques, par rapport aussi à l'occupation humaine, à des traces d'occupation du sol.

MGN - HC : oui effectivement, l'aspect archéologique sur tous nos projets qui intervient toujours. Quand la chance de retrouver quelque chose a été identifiée, comme par exemple au quartier de la gare où il y a eu des fouilles où on a trouvé des choses, des objets quand même. Ça c'est un aspect important, c'est une connaissance du sol, bien évidemment avec toutes les obligations que l'on a, au regard de la réglementation. Il y a aussi un aspect, Marianne disait, ça, ça dépend vraiment entre un projet en extension urbaine ou un projet plus central de renouvellement urbain, il y a l'aspect qu'on mesure, où on a des indicateurs maintenant, dans nos éco quartiers mais aussi dans nos autres quartiers, on mesure le taux de reperméabilisation. C'est pour nous un élément de développement durable important. C'est-à-dire que quand on a, qui concerne un projet plutôt de renouvellement urbain, c'est lié à la densité, à l'occupation du sol, on essaie sur des projets, c'est le cas sur Artem où il y a beaucoup de surfaces imperméables, c'est le cas aussi du quartier de la gare… Dans ces cas-là, même si on construit sur des terrains qui n'étaient pas construits, on essaie de reperméabiliser un certain pourcentage, qui peut aller jusqu'à 50%, dans certains éco quartier, de sols qui étaient jusque-là totalement imperméables.

3. **Quand vous parlez d'apport de terre végétale dans vos projets, pour avoir de la « bonne terre » pour faciliter le développement des végétaux, des arbres, généralement d'où vient cette terre ? Comment vous jugez sa qualité ? Est-ce que des analyses sont faites avant l'apport ? Jugez-vous la quantité de terre apportée ?**

MGN - PH : alors ça c'est la maitrise d'œuvre et les entreprises : les entreprises amènent leur terre végétale et elles doivent étudier cette terre et certifier qu'elle a toutes les qualités pour le développement des végétaux qui ont été choisis.

MGN - HC : Typiquement SOLOREM est plus à même à vous montrer les cahiers des charges, les PV, les analyses etc. de ce qui est fait. Je sais que sur Biancamaria, sur Artem, c'est souvent les paysagistes qui demandent les analyses de terre, en fonction de ce qu'ils veulent planter… Effectivement il y a un lien entre la maitrise d'œuvre paysagiste, ce qu'on met… ce que Solorem met dans le cahier des charges sur les exigences pour choisir l'entreprise, la réponse de l'entreprise… Donc là vous avez une chaine technique importante et des analyses sont faites. Et moi j'ai l'exemple d'Artem, où je crois que sur une des cours une entreprise avait livré de la terre. La paysagiste a eu un doute, elle a demandé des analyses, et on a obligé l'entreprise à enlever la terre et à lui faire mettre la bonne terre qui était prévue dans son contrat, dans son cahier des charges. Donc on va jusqu'à… le contrôle va assez loin.

MGN - PH : le contrôle est fait aussi, et surtout, par le service espace vert.

MGN : Il y a deux cas de figures. C'est vrai que comme on a la chance sur le Grand Nancy d'avoir des grandes zones d'aménagement, donc qui sont des ZAC en périurbain, donc il y a la Haie Cerlin à Seichamps et celle de Bois-la-Dame. Ce sont des sols agricoles où la terre est décapée pour la partie dite végétale, avec des propriétés physico-chimiques qui vont bien. Donc on a un gros stock à l'heure actuelle, car on a des grands projets urbains en cours, ce qui permet d'amender, dans la mesure du possible et normalement dans la majorité des cas ça se fait en bonne intelligence, la majorité des projets où il n'y a plus de terre : on parle de Grand Cœur où l'on est dans l'urbain pur et où l'on ne peut pas réutiliser quelque chose de décaper vu qu'il n'y en n'a pas. Donc il y a des transferts locaux de bonne intelligence qui se font là-dessus. Vu que les projets sont majoritairement pilotés par la SOLOREM, elle a l'intelligence de faire ça sur les projets en cours. Après on a quand même quelques ratés ; je pense à Bois-la-Dame (SOLOREM + Nexity), où en fait les ZAC sont découpées en zones, avec en fait des lotisseurs privés différents. C'est arrivé certaines fois, enfin il faut le dire, où l'on avait des grands stocks à 200 mètres, mais comme le lotisseur avait des marchés et des facteurs économiques propres, il a fait venir de la terre des Vosges… Mais parce que aussi, globalement… Ça arrive encore, mais globalement on a encore une fois quand même… enfin il y a des intercos qui ont moins de chance, plus de pression sur la terre végétale. On a aujourd'hui, quand même, une bonne gestion de la terre végétale sur un circuit court au niveau local, dans l'aménagement au sein de la Métropole. Après, sur la partie analyses, on a un cahier des charges qu'on fournit à SOLOREM, qui est assez… On est en train de revoir ça, car il est assez… restrictif. Et on sait pertinemment que les

propriétés que l'on demande dans les analyses de terre, pour en avoir parlé avec plusieurs agronomes, on est sur de la terre vraiment idéale, type culture de maraichage, ou production alimentaire toute du moins. Donc ça on en revient un peu en interne. Quand on a un marché on va avoir différents critères, sur différents types de terre, parce qu'en fonction de l'affectation, et en particulier pour la végétation ornementale, on peut adapter la palette végétale en fonction des analyses que l'on reçoit… C'est ce qu'on fait par exemple sur la Haie Cerlin quand on travaille avec les maitres d'œuvre… Parce que les maitres d'œuvre ne connaissent pas… Enfin il ne faut pas se voiler la face, même s'ils sont paysagistes, l'agronomie c'est un métier, et c'est peut-être le pendant qui manque un peu… sauf pour, par exemple, pleine cœur pleine rive droite, où là par exemple il y avait un bureau écologique-agronomique qui était avec et qui du tout est très pertinent, je pense par exemple à la renaturation du Grémillon, où les choix variétaux sont… enfin il n'y a rien à redire quoi… Ils ont fait les analyses et puis ils font tout ça en fonction… Donc ça, ça évolue aussi dans le bon sens. On a de plus en plus souvent sur les projets un peu à enjeu sur la revégétalisation, notamment sur le Grémillon, une vraie composante de prise en compte de l'agronomie, et donc de la sélection variétale qui est fait en fonction des propriétés physico-chimiques au sens large.

MGN - B : En plus cette palette on la donne aussi aux habitants, enfin ceux qui s'installent, avec des préconisations, justement pour leur propre jardin, des bonnes pratiques. Après le chantier, pour que le projet vive, et dans les espaces privés aussi, pas que l'espace public.

4. **Est-ce qu'il arrive des fois qu'il y ait des restrictions concernant la quantité de terre végétale à apporter sur site ? De qui viennent-elles ? Ou alors le Grand Nancy ne met pas trop de pression sur ce sujet-là, ces restrictions n'existent pas ?**

MGN : je ne pense pas qu'on ait à l'heure actuelle, dans les documents d'urbanisme, sur de la végétalisation, on ait des indicateurs…

MGN - PH : non pas du tout. Ça dépend des projets et des difficultés. Moi je vois par exemple sur un quartier à Jarville, on a rénové et on a eu un problème de pollution, et là on a décapé et on a mis un géotextile, on a apporté 50 cm de terre végétale, et on a fait un ensemble de préconisations qu'on impose à tout opérateur : on ne peut pas mettre d'arbres fruitiers sur la zone, on n'a pas le droit de cultiver sur les espaces verts où l'on a mis que 30 cm de terre végétale. Donc effectivement, les études avaient été précieuses pour les utilisations…

MGN : il y a quelques zones, quelques lotissements où je pense, à Nancy, dernièrement, il y a eu du confinement qui se fait sur place, pour limiter les coûts.

MGN - PH : alors effectivement, nous on le fait sur nos sites. On le voit à Jarville par exemple. Effectivement, pour minimiser les coûts, on demande au maitre d'œuvre de réutiliser les terres sous les bâtiments, sous les voiries au maximum, pour envoyer en décharge le minimum de terre. Et si on peut, et s'il y a des terres à proximité, on remet la terre à proximité. Je voulais dire également au niveau de la gestion des terres, moi je l'ai vécu… Alors à l'époque elle n'était peut-être pas extraordinaire cette terre, mais elle nous a bien servi… Les entreprises aussi peuvent nous alerter sur des erreurs ! Par exemple je me souviens, dans le cas du projet de Tomblaine, on avait le long d'une avenue, le maire qui voulait absolument un merlon végétalisé pour protéger au niveau phonique toutes les constructions qu'on était en train de faire. Et les entreprises nous ont alerté sur le fait qu'on était en train de changer le stade de Marcel Picot, et que les terres allaient partir en décharge. Donc on les a récupérés et on a fait notre merlon. Donc les entreprises aussi peuvent être là pour nous alerter, parce qu'effectivement en transversalité il y a peut-être parfois des couacs.

MGN : oui et puis c'est de la bonne intelligence, puisque l'entreprise… c'est elle qui a 200 mètres a pu réduire ses coûts…

MGN - PH : c'est du gagnant-gagnant.

MGN - HC : alors pour préciser cet aspect-là, là ce n'est pas de la bonne terre agricole, mais dans nos… maintenant pratiquement dans tous nos cahiers des charges, on met des choses effectivement sur la réutilisation sur place des matériaux d'excavation, mais aussi des matériaux de déconstruction, puisque… Je vais utiliser ce mot-là, puisque la chaine commence là finalement. Par exemple, sur le quartier Nancy

Grand Cœur, de la Gare, on a déconstruit l'ancienne maison d'arrêt, donc vraiment avec du tri sur place… On ne démoli plus comme avant pour tout mélanger et faire trier et traiter ça plus ou moins bien et plus ou moins loin. Donc on déconstruit, en triant les matériaux, et donc ça oblige à conserver sur place : la maison d'arrêt ça a été un gros tas de matériaux pendant un temps… qui a été conservé et qui sert de remblais ailleurs. Donc là on n'est pas dans la présence de bonne terre, qui a une qualité agronomique, mais en termes de développement durable, de coût carbone, voilà de déplacement, de matériaux… on est de plus en plus attentifs. Voilà, ça fait partie des causes de nos chantiers verts quoi.

MGN - PH : là vous n'êtes pas que sur la première épaisseur du sol, non ? Je veux dire vous parlez aussi des épaisseurs en-dessous ? Parce que là on mélange tout…

5. **Au niveau de la gestion de terres sur place, ou même celles apportées, avez-vous une bonne connaissance de ces terres ? Des analyses agronomiques sont-elles faites, pour vous aider à savoir où les placer sur le site, en fonction des usages futurs ?**

MGN : non il n'y a pas ce degré de finesse-là. En fait, sur une ZAC, sur Bois-la-Dame c'était agricole, il n'y avait rien de pollué, tout a été décapé… et on fait, il y a des sondages archéos qui sont fait, donc en préalable… c'est juste une observation visuelle : ils décapent et ils remettent, avec je ne sais plus quel maillage d'ailleurs. Ensuite, il y a un volet études géotechniques, par rapport aux zones prévues en habitat je pense, pour savoir, pour faire des calculs de fondation… Donc il y a le décapage qui est fait sur toutes les zones construites, qui sont stockées à un endroit. Et à ce moment-là, les maitres d'œuvre viennent à SOLOREM, on leur impose, en fonction aussi des zones à aménager… Si l'horizon de surface seulement est à peu près bon, on ne décape que 20 à 30 cm effectivement. Si les deux trois horizons… Enfin on n'a pas encore le degré de finesse, mais on aimerait arriver à ça… pour essayer un peu de respecter les horizons. Mais au niveau des entreprises on peut comprendre que ça représente un coût énorme, puisque ça veut dire en fait que l'on fait deux fois la tâche. Et on essaie, tout du moins nous dans nos chantiers propres au service espaces verts, de réutiliser les terres qui ont moins de qualité, sur des horizons un peu inférieurs, donc dans les 30 ou 60 premiers cm quand on fait une fosse de plantation d'un mètre… On sait par expérience aussi pour l'arbre que c'est mieux car il y a plus de rétention d'eau, même si c'est plus argileux ; et que l'horizon de surface, là où se fait la prospection racinaire, on a une attention pour que ce soit un peu plus riche. Donc ça c'est des pratiques qui se coordonnent avec ce qu'on fait dans notre nouveau marché qui va être bientôt publié… avec des... différents types de sols en fonction de l'usage… Parce qu'on sait pertinemment que l'on ne peut pas trouver, et on a aussi une souplesse à ce niveau-là dans les exigences. C'est-à-dire aussi que si dans le cahier des charges Solorem, on a tous les indicateurs comme je vous le disais qui se rapprochent plus d'une terre idéale, qui n'est pas trio fiable et réalisable au niveau de la demande, on a une adaptation… C'est-à-dire que si on voit que l'entreprise veut planter des saules, des bouleaux, des érables… enfin toute une strate qui supportent les sols lourds, et bien on lui dit c'est bon tu peux la mettre. On n'est pas sur du critère stricto-sensu qui dit bah là t'as 1% de moins donc tu l'enlèves… Ça n'aurait pas de sens.

MGN - PH : il est important de dire que le service espaces verts est très présent auprès de nos maitres d'œuvre. Car effectivement nos maitres d'œuvres, sur la base des études, nous font des préconisations, et nous proposent une palette végétale. Mais c'est vrai que moi je suis attentive à ce que les services soient toujours associés, et justement ça fonctionne super bien, pour donner des conseils, discuter… Car ce sont quand même nos services qui connaissent bien les sols de notre territoire, les différents secteurs, les végétaux qui se développent bien, les avantages et les inconvénients de chaque sol. Il y a un savoir-faire et une connaissance du projet.

MGN : et pour nous c'est primordial, car quand tout un groupe de maitrise d'œuvre vend un projet… il est important que ce projet soit plus ou moins fiable et réel par rapport à ce qui a été annoncé. Et nous on travaille avec le vivant, donc que ce soit le sol car le sol c'est le support du végétal, qui soit ornemental ou pas… cette réussite-là on sait qu'elle ne se voit pas à la livraison du chantier. Cette réussite-là elle se voit dix, quinze, vingt ans après. Donc c'est du travail un peu de fourmis… pas ingrat… mais nous on a une attention très particulière là-dessus, parce que ce sont des espaces non seulement… parce que ça doit être très proche de ce qui a été vendu et derrière, ce sont des espaces qu'on a surtout en gestion. Et si on ne fait

pas attention à tout ça, on a des coûts de gestion qui explosent ; il faut remplacer les arbres parce que ce n'est pas au bon endroit… Et on a des ratés qui nous ont coûté cher. Mais ça s'améliore.

MGN - HC : dans ce cadre-là la métropole est dans un processus d'amélioration continu qu'il faut souligner et qui tend vers l'excellence… avec l'idée qui dépasse de beaucoup les espaces verts quels qu'ils soient… Mais c'est… La métropole s'est lancée dans la rédaction d'une charte d'aménagement des espaces publics. Alors il existe déjà évidemment dans chaque service des choses très précises en termes de préconisations… Mais l'idée est de… Voilà tu viens de parler de ratés, mais aussi parfois de choses contradictoires… Entre voilà l'intérêt de l'aménagement d'un espace public et puis l'intérêt de l'aménagement d'un espace vert… Voilà il y a parfois des recouvrements. On a des réglementations aussi qui parfois sont peut-être un peu contradictoires. Donc la Métropole s'est rendu compte vraiment qu'il manquait une vision d'ensemble, une charte de bonnes pratiques des aménagements et de… de ce qu'il se fait sur notre territoire, avec la connaissance des techniques précieuses de tous nos services. L'idée c'est d'avoir, pour les maitres d'œuvre, quels qu'ils soient, privés ou publics, d'avoir une charte d'aménagement des espaces publics avec des cahiers de prescription très précis. Donc l'ensemble des services du Grand Nancy de manière très transversale, aujourd'hui s'est lancé dans ce travail-là, qui va grandement améliorer la cohérence de tous nos aménagements.

MGN - B : pour rebondir ce que Christophe disait, aujourd'hui on associe très en amont les différents servcies, justement dans la construction même du projet. Dès l'origine on les associe, et justement dès qu'on a fait un choix de maitre d'œuvre, on les associe en amont… pour avancer ensemble sur le projet. Donc il y a vraiment une méthodologie qui a été mise en place, avec un guichet unique, etc. Donc il y a un partage durant toute la vie du projet.

MGN - PH : et les maitres d'œuvre apprécient ! C'est très riche pour soi-même.

6. **Dans vos groupements, qui sont, je le comprends, très pluridisciplinaires et ce dès les phases amont, est-il déjà arrivé d'avoir des compétences d'ingénieurs agronomes ou pédologues ?**

MGN : Cœur Pleine Rive Droite (Essey, Tomblaine, Pulnoy et Saulxure) oui quand même, puisque c'est Eodd et Base, qui interviennent. Eodd a fait un gros travail de recensement floristique et aussi un maillage d'analyses agronomiques il me semble. Et leur palette végétale… alors on est encore à l'AVP plus, mais elle sort… elle est orientée par rapport aux qualités agronomiques en place.

MGN - PH : sur la Haie Cerlin on a un écologue et un paysagiste.

MGN – HC : alors sur Nancy Grand Cœur, on a dans le processus, alors il y a quelques années, renforcé l'équipe de maitrise d'œuvre car on était dans un processus de labellisation EcoQuartier. Donc le cabinet Eodd a été missionné par Solorem pour renforcer l'équipe de maitrise d'œuvre sur tout un tas de sujets, mais y compris le sujet de la qualité des aménagements, des espaces verts, etc. Et puis plus globalement, je reviens à la démarche de trame verte et bleue à l'échelle de l'agglomération, là on a des vrais cabinets d'études (élément 5). Là il y a des vraies compétences agronomiques.

MGN - PH : sur le Plateau de Haye il y a eu beaucoup de travail avec l'université. Mais dans le DOE, il y a eu énormément de travaux pour la création du jardin botanique forestier.

MGN : oui la démarche était à l'époque assez novatrice sur le Plateau de Haye. C'était à l'époque une ancienne carrière, qui avait été abandonnée dans les années 80. Il y a eu une pré-végétalisation, donc c'était assez novateur à l'époque. Et donc l'architecte en charge que vous avez rencontré, à mandater une équipe de sous-traitance, donc qui était le cabinet Jacquemin-Chauvel, qui ont une approche… donc ce sont des architectes-paysagistes… mais qui ont une approche, justement, très respectueuse de l'existant. Donc sur la base en fait de l'enfrichement qui s'était fait, et en tenant compte aussi forcément des propriétés physico-chimiques des sols en place, ils ont créé parc très extensif, en créant tout à partir de la matière première du site. Donc en dessinant les chemins… Donc c'est un parc que l'on entretient nous… Avec le paysagiste qui a toujours une mission aujourd'hui, qui a formé nos équipes pour que la philosophie soit vraiment respectée, et qui intervient tous les ans sur ce parc là et sur d'autres… et sur une approche qui était vraiment novatrice… C'était un des premiers parcs… si ce n'est le premier… et on a d'ailleurs

régulièrement des équipes d'intercommunalités ou de maitres d'œuvre de fédération française du paysage, qui viennent voir le parc, pour voir ce qu'ils peuvent prendre. Car en termes d'aménagement c'est sûr qu'on ne peut pas le faire partout, mais en termes de coût de gestion c'est imbattable…

MGN - HC : oui et puis ça change aussi l'image, ce parc-là. Alors qu'il est issu d'une pré végétalisation qui était très directrice avec ses grands alignements, on a l'impression qu'il a un côté plus sauvage, beaucoup plus naturel qu'un parc urbain crée de toute pièce, pas à partir d'un existant.

MGN : c'est un sol assez pauvre, mais sur les espaces qu'on laisse… il y a une dynamique qui est gérée très spécifiquement sur les espèces qui aiment plus le calcaire. Donc il y a des coupes rases sur certains espaces, mais majoritairement, il y a une dynamique de gestion qui est spécifique justement à… ça parait sauvage, mais c'est géré très spécifiquement. Il y a toute une richesse qui est là. Qui parait très sauvage, mais qui est très travaillée, pour qu'elle soit là et qu'elle reste-là.

7. **Aujourd'hui sur le territoire du Grand Nancy et en amont d'un projet d'aménagement, quelles sont les études consultées pour favoriser la prise en compte de la qualité agronomique des sols dans les projets ? Existe-t-il des outils à proprement parlé pour favoriser cette prise en compte ?**

MGN : vous avez posé la question à SOLOREM ? Que vous ont-ils répondu ?

8. **Ils m'ont beaucoup parlé des études d'impact, et on en est assez vite revenu aux études de pollution, géotechniques… Donc ça amène à ma deuxième question qui est de dire qu'aujourd'hui effectivement il existe des choses sur le sol dans les projets urbains, des études de pollution, géotechniques, etc. Et finalement une étude de pollution c'est aussi un sondage, un carottage à plusieurs endroits d'un site et une étude en laboratoire ensuite. Donc serait-il intéressant pour vous de coupler à ces études déjà existantes des études agronomiques, pour avoir une information plus précise sur la qualité agronomique d'un sol, et donc sur ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques ?**

MGN - B : oui bien sûr ! On élabore un PLUi et donc toute connaissance sur la biodiversité et de savoir justement les zones les plus aptes à faire de l'agriculture, des circuits courts, des jardins familiaux, enfin des choses comme ça… Voir un peu notre enveloppe urbaine et peut être la redessiner aussi finalement : est-ce qu'on fait de l'extension ou pas ? Par exemple dans des zones de renouvellement urbain, savoir ce qu'il faut faire.

MGN - HC : oui bien sûr ! Toute connaissance du territoire ne peut être que positive !!

MGN : c'est vrai qu'au-delà de l'aspect… mais c'est un sujet qu'on avait abordé avec un groupe d'étudiants de troisième année (ENSAIA), qui avait travaillé un peu sur cette thématique-là… c'est qu'au-delà de l'aspect réglementaire, de la chronologie de l'aménagement urbain pur et de ce qui est imposé, la composante agronomique clairement n'est pas intégrée dans la prise de décision sur une affectation de construction ou pas, à l'heure actuelle. Mais je pense qu'il y a peu d'endroits, au moins en France, voire à l'étranger, où c'est le cas. Mais aussi parce qu'il y a une méconnaissance à ce niveau-là.

MGN - HC : après je pense… enfin c'est pas du tout ma spécialité… quand je disais qu'il y avait une analyse… maintenant je pense qu'encore une fois ça va vraiment être renforcée par la trame verte et bleue… même si la trame verte et bleue se soucies des zones humides, de la faune, des animaux, des corridors écologiques, etc… mais vraiment je pense que c'est quelque chose qui va renforcer les connaissances à l'échelle du PLUi. Et je pense aussi qu'il n'y a pas de connaissances, de mesures vraiment de la qualité physico-chimique des sols, mais je pense qu'il y a une correspondance entre la qualité paysagère, la volonté de ne pas trop étendre l'urbanisation sur des terres agricoles… voilà, même sans analyse, je pense qu'il y a une corrélation entre notre analyse paysagère et la connaissance des sols, qui soient des espaces verts de différentes sortes, de la forêt jusqu'aux terres agricoles. On ne peut pas dire que l'on méconnait notre territoire sur ces aspects-là. Mais ça ne s'appuie pas sur des méthodes scientifiques, ça c'est vrai.

9. **Et vous seriez intéressés d'avoir ces connaissances scientifiques ? Cette méthode rigoureuse d'analyses systématiques ?**

MGN - HC : toute connaissance bien entendu !

MGN : on en a parlé avec toute l'équipe du LSE… il me semble que c'est Lyon je crois, qui ont un maillage… bon après je ne sais pas quelle est l'interdistance du maillage… mais d'avoir au moins un maillage sur la métropole, peut-être tous les 100 m… bon il y a effectivement des endroits où on ne pourra pas les faire, essentiellement des parties privatives… mais sur les espaces qui sont encore publics ou potentiellement aménagés à moyen ou long termes, alors… soit on pourrait l'intégrer sur une préconisation Solorem où sur chaque aménagement on affine un peu cette question-là, soit de lancer plus une étude nous, un peu au même titre de la trame verte et bleue, sur vraiment un réseau de mesures, pour avoir un état au moins aujourd'hui de l'agronomie sur le Grand Nancy. Parce qu'on sait nous, un peu par expérience, parce qu'on fait beaucoup de trous pour planter des arbres… on a dans l'inconscient un terrain calcaire ici, mais il y a beaucoup d'endroits dans l'agglomération où on a des terrains acides, qui sont du coup peut être sous exploités parce qu'on s'interdit de par la dominance calcaire, de planter des espèces acidophiles quoi… On a le cas par exemple sur le parc de Montaigu à Jarville, où au sein du même parc par contre, on a encore une grande diversité, avec des espaces vraiment calcaires et d'autres qui sont à 5 de pH… ce qui est très surprenant ! Donc on aimerait, et on tendre vers ça dans les années à venir : avoir au moins un réseau de mesures assez fin sur nos parcs, pour pouvoir adapter aussi les stratégies de replantation et de conception quand on réfléchit à ces parcs-là.

MGN - PH : au niveau des études de sol, ce qui aurait pu être intéressant, c'est que l'on récupère les études de sol des différents opérateurs sur nos quartiers, pour consolider… d'un point de vue financier déjà, ça nous aurait…

MGN : alors nous on a fait faire… parce qu'un des premiers travaux qu'on a avec eux (LSE) c'est l'impact du sel de déneigement sur le sol urbain sur les arbres. Donc depuis 5 ans on a une quarantaine de points, une cartographie SIG, et des analyses agronomiques avant et après hiver pour voir notamment les concentrations de sel, mais on a caractérisé aussi avec les éléments de base que je ne développerai pas, mais les caractéristiques physico-chimiques qu'on avait déjà calé : qu'est-ce qu'on analysait ? Le pH, des choses simples quoi… pour voir la dynamique du sol par rapport au sel mais aussi pour voir une fois qu'on a des grands axes structurants, on a déjà de la donnée. Après il manquerait en effet le fait de pouvoir la récupérer, d'harmoniser le cahier des charges, qu'est-ce qu'on analyse et qu'est-ce qu'on n'analyse pas, pour avoir un état, une cartographie comme base d'outil d'aide à la décision.

MGN - HC : oui parce que les opérateurs, ils font ces mesures de qualité…

MGN - B : oui, ça serait une sensibilisation à ouvrir un peu…

MGN - HC : effectivement, pour faire des économies, pourquoi ne pas l'imposer dans les cahiers des charges. Quitte à faire des carottages, ce ne serait pas trop compliqué d'avoir ces études agronomiques en plus. C'est deux métiers différents, je ne pense pas que ça existe, mais c'est une piste…

MGN : après, encore une fois, l'agronomie et la géotechnie ce sont deux métiers différents. Le bureau d'études qui fait la géotechnie, il est juste sur… il ne saura pas faire de l'agronomie. C'est le sol, mais c'est deux choses différentes.

MGN - HC : si on met dans le cahier des charges, ce sont des études en plus. Mais ça peut nous donner déjà une base de connaissances…

10. Oui, finalement ce sont des études en plus, mais qui profitent de ce qui est déjà-là. Ce n'est pas un coût en plus… C'est juste des compétences à intégrer…

MGN - HC : oui c'est juste un laboratoire qui vient. Il n'y a qu'un carottage et voilà…

MGN - B : ou alors une sous-traitance…

MGN : parce que c'est vrai qu'après je ne sais pas comment se passent les analyses… Parce qu'il y a des analyses de pollution sur chaque espace construit…

MGN - HC : s'il y a des risques historiques. Il y a d'abord des études historiques. Et en général les études d'impacts se sont des études historiques… en fonction de l'occupation historique des sols. Et là où il y a une suspicion, il y a des analyses… Ce n'est pas systématique.

MGN : donc comme dit Mme Blanchart, ce serait des paramètres à rajouter, en revanche le coût n'en serait pas sensiblement changé.

MGN - HC : mais dans les constructions, il y a une analyse de sol pour chaque fondation. Donc dans ce cas-là oui il y en a systématiquement, quand il y a un bâtiment construit, systématiquement il faut connaitre le sol.

MGN : après je ne sais pas le prix d'un sondage géotechnique avec les résultats ? Parce que moi comparé à une analyse de sol, enfin ça dépend des paramètres, mais on est entre 80 et 150 euros pour la caractérisation. C'est vrai que si on fait un sondage, ce serait intéressant de voir la plus-value par rapport au fait d'en faire des analyses agronomiques aussi.

MGN - PH : mais quand tu fais des analyses de sol, tu vas à quelle profondeur ?

MGN : alors en général, c'est les 30-40 premiers centimètres.

MGN - HC : alors que les sondages fondations ça peut être à 10, 20 mètres selon la nature du sol.

MGN : ou alors si c'est une surface imperméable, elle est coupée et on prend le premier quoi… Toujours sur un projet donné en échantillonnant pour avoir une représentativité la plus précise possible.

11. **Je développe un outil qui vous aiderait à orienter le plan masse du projet : en échantillonnant et faisant des analyses de sols à l'échelle d'un site de projet, je pourrai donner des recommandations quant aux futurs usages du site. Est-ce qu'un outil comme celui-ci vous intéresse ? Ou trouvez-vous que finalement ce sont des contraintes supplémentaires ?**

MGN - B : on l'a fait plus ou moins sur les casernes Kleber. C'était un site assez pollué, donc on a fait des sondages plus particuliers, pour voir justement où on mettait l'habitat, les services, etc.

MGN - HC : c'est ce qu'on disait toute à l'heure. Sur la dépollution, on fait ce travail. Il manque la couche si on peut dire justement, la couche agronomique.

MGN - B : mais agronomique on l'a fait aussi sur un jardin je crois. Il y avait des jardins familiaux qui devaient s'implanter et du coup on avait une suspicion du sol, et finalement qui se révèle être pollué, etc. Mais ça il faudrait le savoir aussi, parce qu'on veut développer les jardins familiaux… Donc savoir si on a des terres polluées, ou pas forcément adaptées.

MGN - HC : la plupart de nos projets de renouvellement urbain, la gare, ile de corse, Biancamaria la phase 4 garage Peugeot, on a sur beaucoup de sites de renouvellement urbain quasi systématiquement une étude de pollution dessus, qui oriente effectivement le plan masse. Mais il nous manque cette couche agronomique. Grossièrement on a quand même une connaissance : on sait qu'un sol sous dalle, en fonction des usages passés, aura plus tendance à être pollué que celui d'à côté par exemple. Donc grossièrement, on a quand même une connaissance, qui n'est pas scientifique. Elle est un peu empirique. Pas de manière scientifique comme vous le comprenez.

12. **Une fois j'en avais parlé avec un aménageur qui m'avait répondu que rajouter cette composante agronomique était aussi un peu une contrainte, et qu'aujourd'hui dans le monde de l'aménagement il y avait déjà beaucoup de contraintes…**

MGN - HC : c'est une connaissance. On s'en sert…

MGN - B : ce n'est pas une contrainte. C'est un élément de connaissance pour du développement durable.

MGN : après ça sera de toute façon un choix politique. Mais nous notre mission des services techniques c'est de porter à connaissance l'ensemble des composantes sur le développement durable d'une ville au sens large. Après voilà, fabriquer un outil d'aide à la décision… c'est le politique qui tranchera sur ce sujet-là. C'est eux qui prioriseront. Mais au moins ils auront la connaissance.

MGN - HC : c'est exactement comme la trame verte et bleue : il y a plein de corridors, ils passent à des endroits qui sont des zones aujourd'hui constructibles. Après la décision est politique.

MGN - B : c'est une histoire de curseur, qu'est-ce qu'ils priorisent, etc.

MGN - HC : c'est de la politique de la ville au bon sens du terme.

MGN : voilà, ils ne peuvent pas être contre !

MGN - HC : et en plus moi je suis persuadé qu'encore une fois, instinctivement, ça ne bouleversera pas considérablement… on ne construit pas de toute façon à 100% un site. On parle déjà comme je vous le disais toute à l'heure, de surface non construite, de pourcentage d'espaces verts, d'imperméabilisation. Donc je ne vois pas…

MGN : c'est vrai que tous les opérateurs, et services compris, si on avait un outil comme ça, avec un état à l'instant avant que les projets commencent, tout le monde gagnerait beaucoup de temps : on râlerait moins pour demander les analyses… Quand les zones sont découpées, et bien il faut demander une analyse à chaque opérateur parce que des fois… Si je prends un exemple de ZAC, elle peut être découpée en 6 secteurs différents, donc on a 6 interlocuteurs différents… Donc on connait l'état de la terre, mais si ils ne rapportent pas celle qui est présente sur le site, il faut… voilà, si on a un état on sait, donc on peut déjà orienter les choix variétaux et après… pour nous aussi ça renforce la connaissance, ça porte a connaissance aux élus… et se serait, j'en suis convaincu à titre personnel… Et puis c'est un sujet qui est complètement méconnu, mais où les gens… enfin ça intéresse beaucoup : ça intéresse, même au-delà du politique et du service technique, comme ça fonctionne un sol, qu'est-ce qu'un horizon, qu'est-ce qu'on peut faire, comment… On est dans une conjoncture où l'on se rapproche de plus en plus de cet aspect sol vivant, où chacun aime faire un bout de potager.

MGN – HC : oui il y a le lien avec la santé effectivement.

MGN - PH : nous on le voit sur le Plateau… Il y avait déjà eu sur le jardin botanique forestier un essai avec l'association Comme un jardin. Il y avait une demande après la démolition partielle du Cèdre Bleu, on a fait 57 jardins partagés au cœur du quartier… Il y a une demande énorme. Il y a encore 110 personnes qui en demandent. Donc on sait qu'on va poursuivre la rénovation et qu'on va en faire encore. Mais il y a besoin d'accompagnement, ça c'est clair.

MGN - HC : on en fait sur Biancamaria.

MGN - B : oui il y a un besoin de sensibilisation et d'accompagnement. Sur la Haie Cerlin on les conseille…

MGN - PH : mais il y a une vraie volonté, effectivement.

13. Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?

MGN - HC : alors je pense que c'est très différent en fonction du positionnement du site. Moi je m'occupe plutôt de projets de renouvellement en centre-ville, ou arrière couronne périphérique. Donc… moi j'utiliserai volontiers le mot en tant qu'urbaniste de paysage urbain. La première chose à laquelle je pense, c'est-à-dire trouver un équilibre entre… rappeler que quand on fait de la concertation qu'un projet urbain c'est un projet économique aussi. On concerte avec les gens pour savoir ce qu'ils veulent sur cette ancienne caserne, cette ancienne friche. Ils nous répondent un grand jardin bien sûr ! Sans construction devant chez eux, etc. Sauf qu'il faut leur expliquer que oui, s'ils veulent on augmente les impôts de 50% pour leur payer un grand jardin ici… Donc il faut toujours expliquer, en tout cas dans le renouvellement urbain, dans le projet urbain, que le foncier n'est pas gratuit, que c'est aussi un projet économique. Il faut trouver un équilibre si on ne veut pas qu'une ZAC soit déficitaire, un équilibre économique entre une rentabilité, un droit à construire et puis ce qu'on ne construit pas. Donc l'urbaniste c'est vraiment cet équilibre entre un espace construit et un espace non construit. Et comme je disais toute à l'heure, je suis assez persuadé, en renouvellement urbain, certes on peut densifier, on construit du bâtiment là où il n'y en avait pas, mais on même temps on dé densifie, on améliore un sol et on crée des jardins où il n'y en avait pas, on plante des arbres là où il n'y en avait pas, etc. Donc on crée un équilibre entre… Le paysage urbain c'est la première qualité que je vois à un aménagement. C'est-à-dire la qualité aussi des bâtiments bien entendu, mais là on parle de l'approche, un peu peut-être plus de la terre… la première approche c'est peut-être les espaces verts, la qualité paysagère d'un projet, et les services qu'il rend aux habitants pour se

détendre, se promener, respirer, voir des oiseaux et de la biodiversité. Je pense effectivement moins dans un premier temps à la qualité agronomique, mais qui est peut-être pour des projets un peu plus périphériques. Le travail partenarial avec des agriculteurs, et puis la qualité… le service plus agricole que peut rendre un projet.

MGN - B : c'est plutôt support de paysage finalement. Sur la Haie Cerlin c'est plutôt une extension… c'est plutôt agricole… à se dire finalement est-ce que c'est bien d'urbaniser là par rapport à l'occupation aujourd'hui. Et puis le support pour faire des constructions, c'est de l'argile, à savoir si elles ne vont pas être fissurées dans 10 ans. Donc voilà, vraiment le support des activités…

MGN - PH : moi je suis d'accord avec ce qui vient d'être dit. Le paysage et la création d'espaces d'animation, de vie est essentiel. On le voit, nos espaces après, on fait tout pour travailler avec les habitants. Même si on le fait dès la conception, à travers des ateliers de concertation. Pendant les phases de chantier aussi, on leur fait visiter ces espaces. Mais après il y a tout un travail pour qu'ils s'approprient ces espaces et pour en faire des lieux de vie, car on ne fait pas qu'habiter dans nos quartiers, on y vit. Donc il y a tout ce volet social. Ces lieux de respiration, de vie, d'échanges sont effectivement essentiels. C'est comme ça que je vois les choses avant tout. Après effectivement il y a la cohérence de l'ensemble architectural, mais c'est dans un second temps.

MGN - HC : et puis je ré insiste sur la notion de développement durable, d'EcoQuartier, peu importe le référentiel, les labels, les concours, et ces trucs-là… Quand même depuis 10 ou 15 ans, je pense que dans l'esprit de tout le monde, et ça a intégré je pense tous les services de toutes les collectivités, le développement durable… l'attention effectivement… Alors le développement il y a plein de piliers différents effectivement ; il y a le social, mais je parle du développement durable en termes d'environnement, de qualité des aménagements, de santé, de déplacements doux… Toutes les dimensions du développement durable, du référentiel EcoQuartier, je pense qu'elles sont vraiment bien descendues maintenant. Alors ce n'est pas qu'il ne se faisait rien avant hein… Mais depuis 10 ou 15 ans quand même, cet aspect-là, y compris dans les gros projets urbains où l'on construit beaucoup, où l'on est dans le dur…
A : on a même cet aspect-là dans un secteur assez dense dans Nancy, où l'on est en train de regarder les ilots, et de vouloir dé densifier justement en cœur d'ilot. Pour amener un peu de paysage, de nature en ville. Il y a ces besoins-là.

MGN : alors moi je rejoins un peu… parce que je connais un peu la thématique des services écosystémiques que rendent les sols et la végétation en général… On insiste… c'est un formidable outil pour nous quand on parle à un politique… On sait par exemple que sur un arbre urbain, on arrive finalement à l'amortissement de la plantation de l'arbre et quand il commence à être positif en termes de services écosystémiques, c'est au bout de 15 ans… Et c'est 15/20 ans-là ça pose une question, puisque c'est aussi plus ou moins la temporalité des réaménagements des rues par exemple. Donc on est un peu pour le moment dans une phase de réflexion qui est corrélée aussi à… On est en train d'établir des plans de gestion du patrimoine arboré, donc c'est une démarche qui a commencé sur deux trois communes… pour gérer en termes de stations et aussi l'intégrer par rapport à des espaces qu'on gère nous, à des espaces… ce qui est difficile aussi par rapport à l'aspect végétation, c'est que nous on gère 700 hectares sur l'agglomération, 50 000 arbres, mais derrière… à Nancy on a l'impression que c'est très peu planté, mais on a des ilots qui sont très présents. Quand on est à l'intérieur des ilots on voit qu'il y a une grande présence du végétal. On a un rêve au service des espaces verts, c'est, sur le même model un peu nord-américain, c'est de pouvoir essayer un peu de… de quantifier tout ça. Ils ont des outils eux qui le permettent. Ils le font. Ils quantifient tout ça, ils savent par exemple, je sais que pour avoir utilisé cet outil, ils savent que quand vous cliquez sur un arbre, vous avez le taux de carbone qu'il absorbe en une année, le taux de régulation thermique qu'il procure, etc. Il y a tout un tas d'indicateurs qui fait qu'en fait il y a une vraie prise en compte du végétal sur une longue durée et avec une planification urbaine… on sait par exemple sur des grandes villes, sur New York ou sur d'autres… sur la planification urbaine, parce qu'on sait que de toute façon à moyen et long terme on va densifier les villes, que sur des… ils se fixent des objectifs en termes de régulation thermiques ou d'eau, etc. et ils savent que par rapport à ces objectifs-là et par rapport aux indicateurs et aux services écosystémiques qu'ils ont développé sur ces arbres, ils

savent sur le plan de gestion qu'ils doivent planter en 15 ans 10 000 arbres en plus… pour répondre à ce besoin de par l'outil qu'ils ont à disposition sur les services écosystémiques. C'est assez complexe, mais ça part d'une base SIG, avec après… donc ils ont fait travailler des groupes de recherche, avec un peu, bah sur le modèle d'une école comme l'ENSAIA, pour développer justement… mesurer ce qu'apporte un arbre… Alors ils ont tout un cahier des charges en termes de régulation que ce soit thermique, absorption des polluants, tout un tas de facteurs, absorption du CO_2 et compagnie. Et à partir de ça ils savent, donc par espèces aussi et à partir de la taille des arbres, ils font un calcul savant spécifique à chaque ville, et après donc ils ont une base, en disant bah nous on a tel volume d'arbres privés ou publics, mais je pensent qu'ils mesurent d'abord le public… ça apporte en gros tant par an. Il y a des indicateurs aussi en termes de plus-value immobilière. Donc il y a plein d'indicateurs qui sont intégrés. Ils parlent vraiment d'infrastructures verts dans les pays anglophones, car cette composante justement verte est très intégrée et… pour participer à quelques colloques où il y a des références internationales, même en France ça arrive hein… on sait qu'un bien immobilier avec une sensation de vert dominante, on gagne 10 à 15% sur l'immobilier… Donc les opérateurs, enfin ça intéresse tout le monde. C'est très délicat aussi de trouver… tout le monde aimerait plus d'espaces verts, mais on densifie les villes, il faut trouver l'équilibre, le juste milieu et bien le faire. Donc vous pouvez regarder, c'est USDA je crois. Donc c'est beaucoup de calculs et d'informations croisés hein. Il y a tout un tas de facteurs climatiques propres aux Etats-Unis donc qui ne sont pas applicables… Donc il faudrait pouvoir les adapter aussi. C'est vrai que bon, c'est très utilisé en foresterie, mais nous on avait posé la question de l'utilité ici au service SIG… Parce qu'on aimerait bien avoir un état des lieux, bon ça va au-delà aussi de l'aspect sol… mais on a fait du traitement cartographique sur base de photos aériennes et sur des cartographies… mais on aimerait affiner toute cette composante-là. Pour pouvoir savoir à peu près les dominantes des espèces, dégager la strate arborée de la strate herbacée sur tout le territoire, quel que soit l'aspect privé ou public. Et ça c'est porteur déjà pour nous d'avoir la connaissance, pour les politiques et pour tout le monde. Si on avait un peu de temps !

MGN - B : même nous quand on dit qu'on dé densifie le secteur sauvegardé, on enlève pas les constructions, c'est plutôt du curetage en cœur d'ilot… mais on va peut-être gagner en population car il y a plein de logements vacants qui sont plus accessibles, ou plus loués, ou sous-occupés par des commerces qui ont fait des extensions, etc. donc ce n'est plus un cadre de vie agréable. Donc on va gagner en habitant : on va densifier finalement un peu le centre-ville en termes de population, mais en termes de constructibilité intérieur il y aura une amélioration.

14. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

MGN – HC : est-ce qu'on peut dire que tout est très pertinent ou il faut vraiment… ?

MGN - B : après faut les classer les uns par rapport aux autres, donc c'est peut être mieux d'avoir la liste au départ.

MGN - HC : oui voilà, peut être lisez-les nous tous et on donnera des priorités.

15. **Donc il y avait : régulation de la qualité de l'air, régulation du climat, régulation des aléas naturels, stockage des déchets, purification de l'eau, habitat pour la biodiversité, biomasse, ressource ornementale, énergie, support d'infrastructures et d'activités humaines.**

MGN - HC : tout est prioritaire, tout !

MGN : après c'est dans le cadre de notre travail-là. Car on est tous d'accord sur la pertinence des services-là. Après c'est qu'elle est la dominance en fait.

MGN - HC : c'est vrai que la production à vocation alimentaire moi je la mettrai peut être oui en dernier évidemment, je lui mettrai pas zéro mais bon… Parce qu'encore une fois on fait des jardins partagés sur nos projets donc il y a une dimension, y compris social, de la ressource alimentaire. Moi par exemple, celui-là je le mettrai peut être à 1 ou 2. La gestion de l'eau, encore une fois avec tout le travail que l'on fait avec l'agence de l'eau, je le mettrai assez fort.

MGN - B : après ça dépend aussi des projets.

MGN - PH : oui, après c'est aussi du cas par cas.

MGN : après si on parle vraiment, enfin pour votre travail je pense que c'est ce qui vous intéresse, les aménagements… Parce que la thématique de l'eau et de la récolte des eaux elle est très bien abordée dans les projets sur les anciennes zones agricoles. Là c'est plutôt simple et très bien intégré. Sur les réaménagements en centre-ville comme Cœur de ville, là c'est plus compliqué, car on a déjà des infrastructures existantes, de certains diamètres. Et on fait de la rétention quand on peut la mettre, pour faire des tampons, pour ne pas saturer les réseaux, mais c'est plus difficile. Mais on peut la mettre au moins à 4.

MGN - HC : bon c'est vrai que la qualité de l'air, le rôle des arbres, le CO2 et tout ça, bon c'est… c'est indirectement lié à la quantité d'espaces verts qu'on veut, mais ce n'est pas la première entrée. C'est peut-être 1 ou 2 aussi. On y pense globalement on sait qu'écologiquement c'est bin de supprimer la voiture et de mettre des arbres dans un quartier. On sait que c'est bon dans un quartier. On fait en général les deux en même temps, en tout cas dans un renouvellement urbain. Donc instinctivement on le fait, mais c'est vrai que ce n'est pas l'entrée. La qualité de l'air n'est pas l'entrée. Ce qui est peut-être un peu dommage. C'est vrai que la santé devrait peut-être être l'entrée à mon avis de tous les projets d'aménagement maintenant. Après c'est une conviction personnelle. Dans tous les pays anglo-saxons ou du nord de l'Europe c'est comme ça. La première entrée sur un projet c'est la santé. En France, la santé… peut-être à cause de notre passé… sur les hydrocarbures, le diesel, le nucléaire… la santé ça nous intéresse peut être un petit peu moins. Je pense que la santé c'est du à l'histoire de la France. Mais c'est vrai que ce n'est pas la préoccupation, mais c'est dommage. Idem pour la régulation du climat. On sait que c'est important mais ce n'est pas essentiel. Le paysage au sens physique oui. Encore une fois, tout ça change et on se rend compte que ce n'est pas contradictoire, si on prend les choses… Habitat pour la biodiversité idem, ce n'est peut-être pas l'entrée principale mais on commence à le prendre en compte de plus en plus.

MGN - B : ah si on est quand même… c'est vraiment une problématique...

MGN : bah nous en écologie c'est quand même une thématique… l'étude d'impact définie déjà… c'était le cas sur… on a des espèces et des zones dans l'agglo, au-delà de la nouvelle étude trame verte et bleue qui va arriver… oui c'est pris en compte.

MGN - PH : mais sur tous les sites, on valorise déjà toutes les qualités environnementales du site. Sur le Plateau, c'est très net. On parlait toute à l'heure du pré verdissement des anciennes carrières. Mais il n'y a pas que ça. Il suffit d'aller sur le secteur est du champ de bœuf pour voir que la forêt se mêle au bâtiment. Donc tout le travail fait par l'urbaniste et la maitrise d'œuvre a été de valoriser, et de ne pas tout supprimer, mettre en valeur et s'adapter, s'appuyer sur l'existant pour que de façon douce, on puisse améliorer son existant. Mais c'est certains. Toutes les qualités ont été renforcées. Parfois de façon excessive hein, mais avec une autre optique. Quand on voit par exemple sur l'avenue Pinchard les plantations excessives qui ont été faites… mais ça c'était un autre choix, pour montrer aux habitants qu'effectivement on transformait, on améliorait la qualité de vie sur leur quartier, on voulait leur montrer tout de suite qu'il y avait un changement. Et donc on a accentué la végétation, ces plantations. Et ça sert également aux personnes qui viennent sur le quartier et qui ne l'ont pas fréquenté depuis longtemps. Et ça contribue au changement d'image aussi. Parce que si on avait dû attendre d'avoir un développement normal, on aurait pu attendre longtemps…

MGN - B : donc ça c'est plutôt la partie ornement, cadre de vie.

Régulation de la qualité de l'air : 2
Régulation du climat : 2
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 3
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 1
Ressource ornementale : 3
Energie : 2

Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

MGN - PH : mais je pense effectivement que c'est important pour nous d'avoir des éléments, pour inciter après nos opérateurs, a non seulement faire des études géotechniques, mais aussi étudier ces éléments, et récolter… Je suis sûre qu'on y verrait en plus aucun inconvénient et ce serait très riche je pense.

MGN - B : mais c'est intéressant, mais après ça nous est difficile de démontrer effectivement que quand on gonfle la partie études, mais qu'après on va gagner du temps… on ne va pas rechanger le projet et tout. Et ça on a du mal à l'évaluer. Surtout en amont. Parce qu'on pourrait dire que finalement après on s'y retrouve, ou on est peut-être même gagnant, mais ça le démontrer c'est compliqué.

MGN : mais c'est pour ça que l'approche services écosystémiques est aussi intéressante, parce qu'elle montre quand se fait le retour sur investissement…

MGN - B : après il faut changer les mandats politiques aussi ! Pour la question des attentes à court termes !

MGN - HC : oui, la question du coût global en développement durable elle est primordiale, mais elle est difficile.

MGN - PH : en même temps ça dépend où ça se situe aussi. Parce que quand on est en centre-ville et qu'on intervient, la seconde intervention sera forcément plus tardive que si on est dans des quartiers d'habitats sociaux où nous on intervient et où on sait qu'au bout de 20 ans, on ré interviendra. Donc il y a ça aussi : le retour sur investissement n'est pas le même !

MGN : il y a ça et puis encore une fois, sur des ZAC il y a des espaces… une rue on va l'aménager pour 20 ans, mais le parc c'est des structures intermédiaires qui vont être pérennes… Bon ça, ça sera un autre rêve, mais c'est voilà… peut être adapté en fonction de la temporalité du changement. C'est ce dire bah voilà ces arbres là on sait qu'on va les changer, donc si on veut, dans 20 ans on revient… donc si le maitre d'œuvre propose un chêne, on sait que ça pousse lentement, bah on va l'orienter vers une autre variété qui rendra plus de services quelque part… parce qu'on sait que dans 15, 20 ans on va revenir et que potentiellement on va le couper. Et puis à l'endroit où l'on sait qu'on n'y reviendra pas entre guillemets, là on peut mettre des choses qui prendront le temps de s'installer. Mais ça, quand on en sera là ! Mais c'est des thématiques… et vos travaux nous aident en ce sens. Mais encore une fois c'est plus par méconnaissance que par… on s'en fout quoi. Parce que c'est vrai que même les agronomes présents dans les structures publiques, ils ne sont pas légions je pense, enfin en interco… Nous il y en a deux dans nos services.

Entretien avec MOE – site MGN – B (03.02.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Ah, le sol, c'est une grande question ! Bah il est omniprésent dans notre métier finalement, peu importe le type d'opération… euh… puisque ce que l'on considère aussi comme le sol c'est la géographie, donc il y a vraiment le contexte physique. Euh… le sol il y a la géographie physique effectivement, de relief, de topographie, de rapport au territoire aussi : l'idée de la géographie paysagère, c'est directement lié au sol. Alors ça c'est une échelle large. Dans une autre idée d'échelle large, le sol c'est aussi l'histoire. Finalement c'est ce qui a supporté les activités passées ou l'absence d'activité, la gestion paysagère, la gestion forestière aussi, pourquoi pas, si on est dans des contextes territoires ruraux. La question du sens de l'histoire qui s'est inscrit dans le sol à un certain moment, dans le milieu urbain elle est peut-être un peu plus intense, plus concentrée, à une échelle moins vaste, mais elle a toute autant d'importance. Par exemple, Biancamaria est une friche militaire, mais on intervient aussi dans d'autres contextes de friches industrielles. On mène des études au côté de l'EPF de Lorraine par exemple, où là le sol c'est le premier élément à considérer, avec souvent des pollutions résiduelles. C'est le cas par exemple à Biancamaria avec le garage Peugeot. Donc là le sol a tout son sens parce qu'il va finalement… au sens du contexte, mais aussi parce qu'il va guider la façon dont on va s'inscrire dans tel ou tel type d'aménagement et tel ou tel type de

construction. Avec des sols avec pollutions résiduelles on ne construit pas de la même manière. On évite parfois les fondations, enfin on a un autre type de fondation pardon, on évite les stationnements en sous-sol, ce qui sera le cas à Biancamaria sur le garage Peugeot, car on a des terres impactées. Donc c'est une vaste question, car le sol on se pose cette question quasi en permanence. Le sol c'est notre matière. Mais à plusieurs titres.

2. **Cette question vous vous la posez en amont d'une intervention sur site d'après ce que vous dites, mais est-ce que vous continuez de vous la poser au fil du temps, du début jusqu'à la fin du projet, et puis même après lors de la gestion ?**

Bah oui, tout à fait ! Si je prends l'exemple de Biancamaria, qui pour nous, ce n'est pas forcément ce site là en particulier… qui est une opération où on est intervenu depuis le départ au niveau du projet urbain, donc très en amont de l'opérationnel avec un schéma directeur dans le dossier de réalisation de ZAC et on va jusqu'à la livraison des espaces publics et la mission de coordination des projets privés entre eux. Dès le départ on se pose la question du sol, c'est-à-dire on est sur une friche militaire, des anciens terrains d'entrainement, un centre équestre… donc forcément le sol comment il a été utilisé, quel contexte, on se l'est it posée. J'évoquais la question du garage Peugeot avec aujourd'hui, après la déconstruction du garage, des pollutions résiduelles. Donc on se l'est posée très en amont. Et on continue de se la poser au moment du projet un peu affiné, notamment euh… en regard de la gestion et de la réponse à ce contexte, mais, pour ce qui concerne les eaux pluviales… mais sur la question de l'hydraulique, de l'assainissement et de l'hydraulique, donc la gestion des eaux pluviales, on se la pose effectivement du début à la fin. C'est un élément qu'on doit prendre en compte très en amont du projet, en vérifier la faisabilité technique, et mettre en œuvre ce projet qui intègre la gestion des eaux pluviales. Alors par exemple, le sol de Biancamaria, fait que l'on ne peut pas infiltrer, ou quasiment pas les eaux pluviales. Donc il a fallu trouver un système de récupération des eaux pluviales des espaces publics imperméabilisés et des espaces privés des constructions, les eaux de toitures. Donc on a un système de cuves en béton, sous les dépressions, les noues, les bassins. Donc effectivement sur ce projet Biancamaria, mais sur d'autres projets également, on se pose cette question-là du début à la fin. Un autre exemple, hier on avait une réunion à Urimenil, car il y a un ancien site industriel, une corderie, avec l'EPF Lorraine, avec des secteurs impactés par des pollutions de l'activité corderie, ficellerie. Là on est très, très en amont d'un projet opérationnel et on s'arrêtera nous dans l'étude à un moment donné. Mais ceux qui reprendront ce projet à un moment donné devront se poser cette question. Donc il y a une transmission, qui passe… Peut être finalement que le sol est ce qui fait la permanence du projet. Finalement, on peut changer l'implantation des bâtiments, on peut changer la stratégie de desserte de qualité des espaces publics, mais le sol reste, et il va donner quelques contraintes. Dans ce projet, il y a un cours d'eau qui passe sous le site, et au fur et à mesure de la transformation liée aux activités industrielles, le ruisseau a été busé. L'objectif va être de redécouvrir ce ruisseau. Et finalement on a une marge de manœuvre assez importante du sol dans ce site pour faire passer un peu où on veut, car de toute façon maintenant le tracé est factice, il n'existe plus. Et ça c'est une permanence de projet de l'étude très en amont jusqu'à la livraison qui sera, on va dire, transmise par le sol.

3. **Les projets d'aménagement aujourd'hui réclament-ils de l'interdisciplinarité ?**

Absolument ! C'est une condition *sine qua non* justement pour qu'on réponde, si je suis un peu caricaturale, au contexte guidé par le sol. Donc sur Biancamaria, on a répondu dès le départ dans une équipe pluridisciplinaire : architecte-urbaniste, bureau d'études technique, paysagiste et bureau d'études en gestion de l'eau/environnement, parce que c'est une dimension essentielle du projet. Alors aujourd'hui ce BET, ne nous accompagne plus car une fois la stratégie et le projet technique calibré… pour la mise en œuvre c'est le BET technique qui a repris la main en toute connaissance de cause… mais nous, à l'agence, 9 études sur 10, on a des partenaires, de cotraitants pour une équipe pluridisciplinaire. C'est très, très rare que nous urbanistes on répond tout seul parce que… alors on joue souvent le rôle de chef d'orchestre… Souvent on est mandataire de l'équipe car on doit collecter les informations de l'équipe pluridisciplinaire et les croiser. Car il ne suffit pas de faire remonter les informations, un projet ça se fait aussi en croisant ces données-là. Et donc on travaille avec des compétences très variées.

4. **Et cette pluridisciplinarité vous motive-t-elle ? Par exemple en apportant de nouvelles manières de travailler, d'aborder un site, de nouveaux points de vue… ?**

Oui, de toute façon… étant donné qu'on est sur des projets relativement complexes, qui vont jouer sur toutes les dimensions de la ville… alors toutes les dimensions urbaines, mais quand je dis urbaines ça peut être dans le milieu rural aussi... toutes les dimensions de l'aménagement, de toute façon, il faut se rendre à l'évidence que nous on ne sait pas faire l'ensemble. On a une posture de travail et on aime travailler comme ça, toutes proportions gardées… on est dans la co-construction des projets, avec les ingénieurs, les écologues… Quand je dis toutes proportions gardées c'est qu'à un moment il y a des enjeux et des orientations urbaines et paysagères qui prennent le pas et qui nécessitent certaines adaptations. Mais pour nous c'est une façon de travailler, on n'aimerait pas le faire autrement, c'est très enrichissant. Et on est bien dans l'idée de dire que tous types d'aménagement se fait en balayant l'ensemble des compétences. Parfois, pour être honnête, il y a des appels d'offre auxquels on répond, où la demande de la MOA sur les compétences publiques sont un peu… parfois ça… il y a un excès de zèle. C'est-à-dire que tout est décloisonné et que l'on se retrouve à monter une équipe de 9 compétences… C'est très cloisonné, et je ne suis pas sûre que ça serve le projet.

5. **Et cela vous arrive souvent de tomber sur des appels d'offres comme ça, où autant de compétences sont attendues ?**

Non, il y en a eu deux dernièrement donc c'est pour cela que je vous en parle, à 7 et 9 compétences… Mais c'est de plus en plus, et c'est assez louable quand on se rend compte que des projets qui s'inscrivent dans tel site, ou contexte, est bien effectivement ancré dans le sol. Dans ce sol là et pas dans un autre. Donc c'est assez louable que la demande d'une équipe pluridisciplinaire avec des compétences en écologie par exemple, parce qu'il y a un sujet spécifique et que c'est vraiment essentiel de s'ancrer dans ce sol là… En revanche parfois, c'est complexe oui, et puis il y a des compétences transversales de développement durable, par exemple où là on ne sait pas trop parfois quoi en faire. Et puis finalement on le voit bien c'est transversal, ce n'est pas ancré dans un contexte d'un site particulier, d'un sol particulier.

6. **Et au sujet des deux appels d'offre dont vous parlez, quelles étaient les principales compétences attendues par la maitrise d'ouvrage ? Ce sont des compétences qui se retrouvent souvent dans d'autres appels d'offre ?**

Oui, assez souvent. On travaille essentiellement nous avec ces partenaires BET technique VRD, parfois tout corps d'état, car ce sont des sites industriels construits, donc problématiques de démolition potentiellement réhabilitation, donc on doit avoir une interface avec une compétence technique par rapport à ça. Généralement, c'est un BET VRD. Donc ça c'est quasi le binôme systématique avec nous. Sur des compétences… on s'associe souvent les compétences d'un paysagiste. Même si nous on sait appréhender les questions paysagères à une échelle territoriale, ou dans une dimension de quartier, dès qu'on touche à la technique, au génie végétal comme on l'appelle, effectivement là ce n'est pas de notre ressort. Souvent, un BET environnement, pour tout ce qui est par exemple études d'impact, sur les études faune/flore, etc. Et puis parfois BET mobilité. Et puis bon ben après ça varie. Mais spécifiquement on va dire que ça c'est le noyau dur. Après ça varie en fonction de la demande et de l'appel d'offre spécifique.

7. **Avez-vous déjà vu des appels d'offre avec des compétences attendues en agronomie ? Avez-vous déjà eu la possibilité de travailler avec des agronomes, des pédologues ?**

Ce qui est assez étonnant, c'est que l'un des deux appels d'offre que j'évoque concerne la réalisation d'un agro-quartier dans l'agglomération de Strasbourg. Effectivement… alors là on est associé… effectivement il y avait des compétences en agronomie, mais qui sont… on va dire… le BET environnement avec lequel on travaille… si un agronome n'est pas un de nos partenaires privilégiés, le BET à qui on fait appel parfois, lui c'est un peu son cœur de métier et a plus souvent l'occasion de travailler avec un agronome, si je prends cet exemple-là. Donc forcément il va ramener cette compétence-là dans l'équipe en même temps qu'il intervient avec nous. Et effectivement on est de plus en plus sur des appels d'offre avec des sujets spécifiques qui mobilisent des compétences particulières. Sur le deuxième que j'évoquais, il y a effectivement un hydrogéologue qu'on a contacté car il y avait cette compétence spécifique qui était demandée. Donc parfois c'est un vrai sport de trouver une compétence spécifique, quelqu'un avec qui on n'a jamais travaillé et qui est sollicité quand c'est très spécifique… là on est vraiment sur des experts qui se comptent sur les doigts des deux mains… au niveau du territoire national, c'est difficile de savoir qui appeler, et puis ils sont beaucoup sollicités, car tout le monde saute dessus.

8. **Avez-vous déjà eu accès à des fiches d'analyse agronomique ? A la lecture, sont-elles facilement compréhensibles ? Ou ce n'est pas du tout votre domaine, et vous préférez déléguer au BET avec lequel vous travaillez ?**

Alors, je ne vois pas ça… Alors ce n'est pas forcément des agronomes… Alors c'est drôle parce que c'est effectivement la réunion d'hier sur Urimenil et le site de l'ancienne corderie… euh on est en parallèle mais on n'est pas dans la même équipe, il y a deux équipes en parallèle : une étude environnementale menée par un groupe ANTEA-ICF et en parallèle nous on organise plutôt les diagnostics et schémas d'aménagement. Et eux sont spécifiquement sur les sols impactés et la question spécifique de la pollution. Charge à nous, urbanistes dans ce système-là, de faire le lien entre… d'organiser les échanges et la coordination entre une interface très technique et spécifique et une étude qui est plus générale. Et ils nous livrent en général leur diagnostic, leur proposition de carottage, leur mode de faire, à la pelle, etc. et les résultats des analyses. Et évidemment que nous… c'est là où on voit qu'on travaille avec de bons professionnels quand ils arrivent à nous livrer quelque chose de relativement profane dans l'ensemble, en mettant le doigt sur quelque chose spécifique, ou des nœuds… là il y a vraiment un spot de pollution et on ne saura pas le gérer comme ça… donc il va falloir intervenir. Et là on s'en saisit plus profondément et on va vraiment aller voir dans le détail, essayer de comprendre oui mais alors OK c'est volatile… c'est plutôt en rapport avec la pollution. Après, je ne dis pas qu'on est spécialistes ou qu'on sait lire, mais on a plus l'habitude d'avoir… quand le rapport arrive et qu'il n'y a pas les conclusions, à plusieurs cerveaux avec mes collègues on y arriverait à croiser les données. Mais ce n'est pas à nous de le faire, et nous on revendique en tout cas que chaque compétence, chaque spécificité à sa compétence, et tant qu'on travaille bien ensemble c'est bien… enfin l'idée ce n'est pas de se substituer à des gens qui sont très spécifiques et qui sont très compétents dans leur travail. Je ne leur demande pas de proposer un plan d'aménagement. Chacun est bien chez soi, si tant est que des fois on croise les éléments, ça c'est quand même assez important ! Je parlais des eaux pluviales toute à l'heure, c'est pareil… dès le départ, quand on est dans un contexte plus rural, par exemple l'aménagement d'un futur quartier sur terrains agricoles, le BET technique avec lequel on travaille va peut-être aller fouiner dans les cartes géologiques en disant ah de toute façon ce sont des marnes, ce ne sont pas des terres pour infiltrer l'eau. Sur des projets plus urbains comme Biancamaria on demande à ce qu'un géotechnicien réalise des analyses de sol et nous livre ses conclusions, parce qu'on sait qu'il y a eu des remblais, voilà, mais on ne sait pas de quelle nature, et qu'on ne va donc pas avoir une capacité d'infiltration aussi forte d'un bout à l'autre du site, c'est beaucoup plus variant. C'est sûr que si on est dans un terrain agricole et qu'on fait trois points de sondage et qu'on obtient les mêmes choses, on se dit que globalement sur l'ensemble du terrain… sur un site urbain où effectivement le sol a déjà eu une autre vocation, là on ne sait pas ce qu'on va trouver. Mais encore une fois, c'est important que le géotechnicien fasse une synthèse et que le BET technique avec lequel on travaille nous fasse remonter de façon complètement profane en disant là oui, là non, là ça va pas, de façon presque caricaturale là ça craint. Et encore une fois, nous il faut qu'on puisse comprendre les implications et les enjeux, mais à aucun moment on a envie de se substituer à ça… Et puis on n'est pas fou !

9. **Concernant la gestion des terres sur site déblai/remblai, avez-vous l'impression que c'est une problématique de plus en plus abordée et de plus en plus importante dans les projets, tant parce qu'elle est demandée dans les appels d'offre ou parce que vous vous y accordez de l'importance ?**

Alors ça c'est un gros moteur, qu'on a depuis toujours depuis qu'on fait de la MOE et puis c'est de plus en plus demandé puisqu'effectivement ça permet de réaliser une économie de projet. Car on ne voit pas pourquoi on va dépenser un poste dans un projet où il n'y a jamais assez d'argent, et en plus de ça, c'est facile à dire mais c'est quand même la réalité, il y a le bon sens. Si on avait un projet, je le dis comme ça, où c'est open bar, vous avez le budget illimité, on n'irait pas faire un balai de camions… Alors, il y a plusieurs modes de faire, et ça on y pense dès qu'on rentre dans une phase un peu opérationnelle, dans l'avant-projet. On essaie de tendre toujours vers le déblai/remblai zéro : les déblais alimentent les remblais. Parfois les remblais sont de mauvaise qualité, ils ont une qualité structurelle mécanique qui ne permet pas par exemple d'aménager les fondations de construction. Donc ça, ça arrive, encore une fois il faut séparer les contextes urbains, où on a des sols divers et variés, on ne sait pas trop ce que l'on trouve, et les contextes plus ruraux, plus agricoles. Donc on essaie de tendre vers le déblai/remblai zéro, on essaie de

récupérer les matériaux de démolition quand on a un autre projet sur Nancy très construit, et il y a une équipe qui est MOE de préparation de site, donc démolition, abattage des sites pour préparer le terrain, pour que nous MOE urbaine on arrive et on puisse aménager le projet. Et l'idée c'est que là on est en train de se mobiliser pour que comme la première équipe d'études et de travaux va intervenir en amont pour les démolitions, qu'on rate pas le coche en se disant quel volume ils doivent garder sur le site et quel volume ils doivent sortir… et euh… est-ce que les matériaux de démolition pourraient servir aux structures de chaussée, est-ce qu'on est dans des propriétés mécaniques qui le permettront ou pas, est-ce qu'on aura beaucoup de déchets ? Et donc nous on n'a même pas livré l'AVP encore, mais on sait qu'on doit se mobiliser là-dessus maintenant car quand c'est trop tard c'est trop tard. Il y a aussi d'autres questions sur les déblais/remblais. On participe, on a un très gros projet sur Vandoeuvre. Donc c'est un BET hydrogéologie qui intervient dans la construction d'un réservoir de 30000 m3 d'eau potable, sous un parc. On est dans l'équipe… l'idée c'est de réaménager la partie du parc qui aura été mise à mal par les travaux au mieux, d'intégrer les enjeux, les besoins, questions de stationnement, et de réintégrer ça compte tenu du réservoir d'eau et des nécessités de gestion et d'entretien du réservoir. Là la question s'est posée avec le MOA qui est la Métropole mais aussi avec la mairie de Vandoeuvre qui gère les riverains, de dire le balai de camions qui partent avec les terres excavées… parce que là déblai/emblai on a difficilement le zéro, comment on organise ça, les horaires etc. par rapport aux riverains. Et nous en tant que MOE on doit gérer ça aussi. On ne s'y attend pas forcément, mais ce contexte là nous oblige à devoir réfléchir à toutes ces questions. Après nous on peut intervenir à la marge, mais c'est des enjeux qu'on évoque ensemble. Donc oui, les déblais/remblais ça nous anime pas mal.

10. **Comment vous faites sur un site pour appréhender la qualité d'un déblai ? D'un remblai ? Pour choisir quels volumes vous gardez sur place et lesquels vous exportez ?**

A bah là c'est les partenaires géotechniciens avec qui on ne travaille pas directement, mais on a un certain nombre de phases dans un projet, et il y a des missions géotechniques qui doivent être prévues. Après c'est mouliné par le BET technique avec qui on travaille, synthétisé, qui nous livre les conclusions et qui propose une stratégie. Sur la question des déblais/remblais, on est souvent confronté à la question des terres polluées, on se pose la question tout de suite quand on doit excaver une partie d'un terrain et qu'on sait que les terres sont impactées… euh… si c'est par exemple des pollutions volatiles, on va se poser la question de les traiter sur site, avec un merlon de terre végétale propre, etc. Mais on n'est pas forcément dans la caricature de terre polluée on enlève et on traite en décharge spécifique. On sait que ça coûte énormément, et que finalement on peut le gérer sur sites dans de bonnes conditions avec des merlons paysagers, etc. Et ça encore une fois, c'est très en amont qu'il faut le gérer, parce que même avant l'opérationnel, quand on fait une étude de faisabilité, le budget peut être mis à mal si on se ne creuse pas la cervelle de savoir ce qu'on fait des terres. Donc ça rentre dans l'estimation du budget du projet. Si on ne s'est pas posé la question à ce moment-là, soit on va faire une estimation qui crève le plafond et qui va peut-être aboutir sur l'opération est infaisable, soit on va sous-estimer par méconnaissance le volet financier, et la MOA foncera tête baissée dans un projet opérationnel et foncera dans le mur quand les choses deviendront entre guillemets plus sérieuses. Donc, c'est assez marrant, en parlant avec vous, je réalise qu'on est toujours accroché au sol, à la terre, à la dalle existante. C'est vraiment important, c'est essentiel en fait, c'est complètement transversal dans notre activité.

11. **Sur Biancamaria, pouvez-vous me parler un peu de la gestion des terres ? Avez-vous réussi à tendre vers ce déblai/remblai zéro ?**

Alors, on a du ramener surtout sur le secteur C… il y a eu un peu d'apport de terre. Ce qui se passe c'est qu'au niveau des espaces publics… donc secteur C s'est aménagé en phase provisoire et livrer pour certaines opérations… on est sur un principe de trame d'espaces publics qui s'organise de façon croisée avec un système de voies nouvelles. Donc on a ce système de voies de dessertes et un système de parc infiltré. Effectivement, l'idée c'est que sur le parc, on a essayé de conserver les altimétries au maximum, donc il n'y a pas eu de déblai/remblai. Sur les voies nouvelles, je crois qu'on a récupéré un peu de déblai. Sur le secteur C je crois qu'on a rapporté, on a réalisé une plateforme haute qui existait déjà mais en partie, pour accueillir du stationnement. Donc on était plus à rapporter du matériau qu'en évacuer. Sur les constructions des opérations privées, on est là en tant que prescripteurs, conseils, on donne des conseils, mais on ne peut pas être derrière chaque pelle. Donc là, l'information m'échappe, et on est sur un système

on va dire de bon sens. Mais c'est le bon sens économique de toute façon, donc je ne vois pas un opérateur aujourd'hui dire… En revanche… un des objectifs c'est de conserver au maximum les altimétries existantes, comme on est sur un parcellaire allongé, on ne peut pas se permettre de modeler le terrain… Après, quand on zoome sur les parcelles… ce qui nous intéresse aussi par rapport au sol c'est les altimétries à la fin du projet… Le problème c'est quand on vient aménager un espace public et que les espaces privés ne respectent pas les altimétries… Charge à nous d'appeler l'architecte de cette opération en lui demandant comment on peut traiter ce problème d'altimétrie.

12. **Au niveau de l'emplacement réservé aux stationnements, vous êtes au courant de la provenance des terres de remblais ?**

Je sais, parce qu'il y avait… c'est purement financier encore une fois… on a dû dans le cadre d'un avenant avec l'entreprise de travaux, il y avait une ligne apport de remblai. Mais sur Biancamaria, on est mandataire sur la MOE urbaine, donc tout ce qui est coordination, etc. en revanche sur la MOE des infrastructures, c'est le BET qui fait partie de notre équipe… donc je suis au courant de beaucoup mais pas de tout.

13. **Le projet est un parc infiltré, avez-vous eu besoin de faire des amendements de sols, des apports de terre végétale ?**

Oui, l'entreprise du lot 3, donc espaces verts, a apporté, je crois, de la terre végétale amendée. Pareil, surtout j'ai envie de dire pour… Alors on a quand même une gestion paysagère qui est assez sobre dans le parc : grands espaces engazonnés, donc là ça s'est bien passé seul, c'est engazonné ou semé de prairies fleuries. Evidemment les fosses de plantation il y a eu apport de terre végétale de terres amendées évidemment. Et comme il y a des jardins familiaux, sur les anciennes plateformes où il y a des bâtiments, qui étaient d'anciennes dalles démontées, etc. ça a été extrêmement compacté ensuite. Donc ce n'était juste pas envisageable de planter une carotte ou un chou à cet endroit-là. Donc elle a dû être ré ameublie, et là il y a eu apport de terre végétale il me semble. Mais globalement, sur les terrassements, on n'était pas sur des postes… Le secteur c, était plus important en termes de terrassements. Après il y a quand même eu des inondations donc on est passé en retour de crue centennale. Et donc les volumes de stockage avant rejet en réseau ont doublé et donc il y a des énormes cuves. Donc une partie des déblais a été stockée pour régaler les terrains et l'autre partie a été évacuée.

14. **Et au niveau de l'évacuation, vous savez où ça part ?**

Absolument pas. Pas du tout. Je pense que SOLOREM saura plus vous renseigner.

15. **J'essaie de développer un OAD dans ma thèse à l'attention des aménageurs pour avoir une meilleure prise en compte du sol, mais du point de vue agronomique, dans les projets d'aménagement. Donc ça dépasse les aspects de pollution, on peut parler là de sols fertiles. Je voulais savoir si ça vous intéresse de coupler des analyses de pollution avec des analyses plus agronomiques ?**

Bah en fait je crois… Non mais c'est vraiment intéressant, car quand on parle de terre polluée, au départ on parle de qualité des sols. Effectivement, on a tendance de façon collective, à superposer des compétences qui sont parfois rares aussi dans la question de l'analyse de la qualité des sols, dans le côté positif, parce que souvent c'est la qualité des sols si ce n'est pas pollué, c'est pas problématique, donc c'est bon. On a rarement l'occasion de se dire ce n'est pas pollué certes, mais *a contrario*, c'est très fertile. Alors effectivement il y a l'appel à projet de l'agro quartier à Strasbourg où là il y a une dimension spécifique car effectivement c'est dans le projet initial. Mais ce n'est pas dans le… dans l'acte d'aménager tout venant où on pourrait se dire systématiquement… En fait quand on se pose la question de la qualité des sols c'est plutôt d'un point de vue sécurité, en se disant il y a une autorité compétente environnementale, qui a des règles, et on doit y répondre. Donc on va vérifier que les sols se prêtent à l'aménagement. Mais on ne se pose pas la question dans l'autre sens : est-ce que la qualité des sols peut orienter le projet de façon positive. Je trouve ça intéressant sur le principe. Comment mettre ça en œuvre ? Peut-être que ceux qui analysent la qualité potentiellement diminuée ou problématique des sols devraient savoir également analyser la qualité… le potentiel fertile des terres, je ne sais pas.

16. **A ce titre, vous pensez que pour avoir une connaissance de la qualité agronomique des sols, il n'y aurait pas beaucoup à rajouter, étant donné toutes les choses qui sont déjà faites aujourd'hui dans un projet ?**

Alors ça m'échappe un peu sur la technicité, mais quand on demande à un jury de techniciens de réaliser un certain nombre de sondages… Alors encore une fois ça serait peut être intéressant de contacter un BET technique ou un aménageur comme la SOLOREM, mais euh… Parce que moi je ne lis jamais un rapport géotechnique complet, jamais. Ce n'est pas mon job. Mais je ne suis pas certaine que des indices de fertilité, je ne sais pas comment on appelle ça, apparaissent dans ce rapport. Et là pour le coup il ne faudrait pas énormément de choses… Enfin on a un échantillon. Globalement, ce que vous avez prélevé sur le site c'est ce que le géotechnicien prélève sur le site, sauf qu'il n'y a pas les mêmes analyses. C'est comme une prescription médicale j'imagine, c'est comme une prise de sang, on ne va pas regarder la même chose. Ce n'est pas énormément d'énergie à dépenser pour chercher la glycémie du patient. Ça serait intéressant même si ce serait une des données à prendre en compte au cœur d'un système très complexe d'enjeux. Mais, Biancamaria, on était dans un contexte urbain et pas sur des choses vraiment riches. Et donc j'en viens à cette question d'effectivement est-ce que ces éléments pourraient influencer le projet en bien, si c'est ça la question, euh… on a une autre étude où on a par exemple des valeurs paysagères sensibles ; importantes, des verges, des arbres isolés, et on organise le projet en fonction de ces valeurs existantes. Le site à Nancy assez construit, que sont les anciens hôpitaux près du quai de la bataille, on a un espace vert protégé inscrit dans le PLU, mais au-delà de cet espace vert, il y a une trame arborée intéressante où on ne pourra pas garder tous les arbres. L'idée est de trouver le point d'équilibre. Il y a ça et un système de murs périphériques et intérieurs qui sont très intéressants. Et ça on se mobilise pour les préserver dans le projet. Et là on réfléchit le projet en fonction de ces éléments-là. Au même titre que si en amont avec les diagnostics on fait remonter qu'il y a des sols très riches à ce niveau à, on va peut-être orienter la trame des espaces publics et paysagère à ce niveau-là, si c'est possible, si on trouve le point d'équilibre, plutôt là, car on se dit que c'est quand même idiot. Pour moi le sol c'est une valeur, au même titre que le mur, même si elle est moins visible. Si ça peut permettre qu'un parc pousse bien mieux que si on fait plus bourrin en ramenant plein de terre amendée… Pour moi c'est une valeur existante du sol. Ça peut être construit, arboré, des traces, si on est sur friche industrielle avec anciennes voies ferrées… La qualité du sol a au même titre une valeur pour nous. Après c'est peut-être plus difficile à promouvoir auprès de certains MOA ou élus.

17. **Justement, c'était ma question d'après, est-ce que vous pensez que les élus sont assez sensibles à cette problématique de qualité agronomique des sols ?**

Je pense qu'il y a un travail de sensibilisation à faire. Mais c'est difficile de répondre à cette question. Car il n'y a pas les élus. C'est comme partout, il y a un élu et la commune d'à côté l'élu n'est pas sensible aux mêmes éléments. Idem pour les aménagements. En revanche la sensibilisation vient peut-être en évoquant ça régulièrement. Ce n'est peut-être pas dans un an, deux ans ou cinq ans, mais peut être que dans 10 ans ça sera une donnée fondamentale, et que la DREAL imposera une étude de qualité des sols… Si on met à mal ce système de qualité des sols dans un projet, il faudra justifier. Après, les élus ne réagissent pas de la même manière : il y en a qui sont moteurs, des fois ils s'enchainent aux arbres ! Et des élus qui pensent à autre chose, qui ont d'autres intérêts premiers. Mais il faut que ça émerge pour qu'à un moment ça prenne à moyen terme, peut-être par le biais de l'économie.

18. **Justement, je voulais savoir quel serait l'indicateur idéal pour réussir à les convaincre de cette problématique. J'avais en tête cette idée d'économie du projet, mais également des attentes des usagers, en disant que si les sols étaient respectés, ils pourraient rendre des services à la population et que le projet serait *in fine* de meilleure qualité.**

Effectivement, on peut avoir nous… parce qu'on est plutôt dans ce discours-là. On va se creuser les méninges et se sera peut-être plus complexe mais on va faire des économies et il y a cette notion de patrimoine au sens large du terme, car les terres arables et fertiles font partie du patrimoine. On peut promouvoir le bon sens mais on est face à des MOA qui ont des points de vue radicalement différents entre eux et parfois avec nous. Mais je suis d'avis de mettre la barre à 200%pour avoir du 80%.

19. **Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Ah c'est complexe ! C'est marrant ! Quels services le sol peut me rendre en fait, c'est ça ? C'est marrant, je ne m'étais jamais posée la question comme ça ! Alors, nous on a la part un peu belle c'est que le métier qu'on fait est à la fois technique mais à la fois hyper généraliste au sens noble du terme, il parle à tout un

chacun. Je crois qu'il a une double vision : moi en tant que personne, usager, qu est ce que le sol peut me rendre comme service ça va être d'être équilibré, trouvé l'équilibre. Pour le coup, si on arrive à se creuser la tête, c'est trouver l'équilibre entre la trame d'espaces publics paysagers, les jardins… Ah oui j'ai oublié de dire qu'à Biancamaria on a imposé aux constructions privées un pourcentage de pleine terre qui va bien au-delà du PLU, on a imposé qu'il y ait une rupture de constructions sur certaines des parcelles entre un premier corps de construction, pour pouvoir planter un arbre de niveau 1 qui fera l'épaisseur dans 15 ans. Et le sol va permettre peut être de trouver l'équilibre entre les constructions, l'espace public paysagé donc le service ornemental, l'espace privé mais collectif à la vue, la desserte, etc. Donc en fait le sol le service qu'il rend c'est qu'il va être support au système. Même pas support, il va participer au système là. Après sur un point plus technique, c'est quand on arrive sur un site et qu'on sait qu'on va aller assez loin dans l'opérationnel, on se demande directement s'il va rendre ce service d'infiltrer les eaux pluviales. Sur l'agglo de Strasbourg, le débit de fuite imposé à la parcelle est de zéro : ça veut dire que chaque parcelle infiltre et est autonome et ne rejette pas ses eaux dans… A Nancy, c'est l'inverse, car comme on n'est pas sur les mêmes sols, on se paie des tuyaux, etc. Le sol va permettre de créer un système et d'infiltrer les eaux donc, ce sont ces deux éléments là.

20. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

J'ai l'impression que je vais dire 5 partout !
Régulation de la qualité de l'air : ah oui, alors ça... en fait… c'est important intellectuellement mais comme je ne comprends pas tout… je vais dire 2
Régulation du climat : 3
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 4
Purification de l'eau : 4
Habitat pour la biodiversité : ah bah là c'est 5
Biomasse : de façon générale ou dans notre métier ? Ah oui alors 1
Ressource ornementale : 5
Energie : 1
Support d'infrastructures et bâtiments : 5
Support d'activités humaines : 5

Je crois que je vais vous voler quelques éléments et je parlerais aux élus de services que peut rendre le sol ! C'est hyper intéressant ! Les élus quand on leur parle de sol en tant que ressource ça les gonfle ! Mais je vais essayer de leur parler de services !

Entretien avec Aménageur – site MGN – PH (01.02.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Aujourd'hui pour nous le sol on va dire que c'est plus lié à la couche qui va devoir être traitée soit dans le cadre de travaux d'infrastructures, que ce soit dans le cadre de travaux de nivellement pour obtenir des altimétries favorables à la réalisation du projet. Le sol c'est aussi par rapport à la commercialisation d'un terrain, la couche de matériaux qui va devoir être regardée vis-à-vis des terrassements pour faire les fondations des bâtiments. Voilà, donc un sol va être étudié d'un point de vue géotechnique, donc ses qualités vis-à-vis des charges qu'il peut recevoir. Aujourd'hui le sol est regardé aussi d'un point de vie caractérisation physico-chimique pour regarder si demain il peut être accepté dans des décharges de matériaux inertes ou pas. S'il est pollué et ben dans le cas échéant voir comment on peut envisager son traitement. Donc voilà à peu près pour nous le sol quelle est sa définition par rapport à l'intervention qu'on a menée dessus.

2. **Aujourd'hui dans le monde de l'aménagement, vous trouvez que le rapport au sol est fort ? Faible ? Ou ça dépend des contextes, du site, etc. ? Ce sont des questions que vous vous posez souvent ?**

Tout le temps, à chaque fois que l'on aménage un site c'est une question assez prioritaire, puisqu'effectivement ça va générer des coûts en fonction de la nature du sol. S'il est de bonne qualité par rapport à une charge qu'il va pouvoir supporter des constructions, s'il n'est pas pollué, ou à l'inverse si le sol est pollué, s'il est médiocre, s'il est de nature argileuse avec une sensibilité à l'eau forte ça peut être assez problématique pour aménager la zone et derrière les terrains. Donc le sol c'est une donnée d'entrée importante lorsqu'on budgète une opération d'aménagement.

3. **Est-ce que les interlocuteurs de MOE ou MOA ont la même sensibilité sur cette question ? Ou ça dépend du contexte, des acteurs ?**

Ils ont une sensibilité par rapport au sol, mais je pense différente, dans le sens où eux… on parle de MOE, la partie paysagiste du MOE qui lui va avoir un rapport au sol différent : il va plutôt étudier la capacité du sol à pouvoir être réutilisé ou pas en place ou s'il nécessite des amendements pour faire des espaces verts. Après la partie pour faire des voiries, le géotechnicien qui lui va vérifier la qualité du sol vis-à-vis de sa portance pour les voiries ou les passages de trafic. Il l'étudie donc d'une façon différente, qui je pense à certains endroits se rejoint quand même.

4. **Concernant les élus, sont-ils sensibles, selon vous, à toutes ces problématiques de gestion des sols sur site ?**

Eux ils sont sensibles plus vis-à-vis de la pollution du sol, de plus en plus. Vis-à-vis des aspects de « développement durable ». Aujourd'hui ils sont sensibilisés vis-à-vis de cette question-là, de pollution du sol… ce que ça peut générer en termes de nuisance aussi vis-à-vis des usagers. Parce que le politique il va souvent regarder ce que ça génère vis-à-vis des usagers et potentiels électeurs.

5. **Quand vous intervenez sur un site et que vous souhaitez connaitre la qualité d'un sol, et que vous faites appel à des BET ou des services techniques de la MOA, est-ce que vous trouvez facilement des interlocuteurs ? Est-ce que ces analyses vous les comprenez assez rapidement ?**

Nous on ne lit pas… On fait appel à des prestataires qu'on connait… qui savent d'une part prélever des échantillons de sols, les analyser en laboratoire… bon soit c'est des laboratoires intégrés soit des laboratoires externalisés… et ensuite ils interprètent les analyses. On n'est pas du tout compétents dans ce domaine-là. Donc on délègue la procédure telle que je viens de vous la décrire : de l'échantillonnage sur site à la production de rapport qui définit les caractéristiques du sol.

6. **Et ces analyses vous les faites en amont, avant d'intervenir sur site ?**

Oui, ça permet déjà en amont de définir un budget du projet, des dépenses qu'on peut avoir sur des préparations de travaux, des dépenses préalables à la réalisation d'aménagements de surface, que ce soit des rues ou des parcs. On sait qu'aujourd'hui ça peut être une donnée importante, à utiliser en amont.

7. **Sur cette problématique de gestion des sols sur site, notamment au plateau de Haye, est-ce que c'est une pratique que vous essayez de mettre en place sur tous les sites où vous intervenez, de privilégier les sols en place et de les réutiliser ?**

Oui, d'une part parce que ça participe au développement durable. Clairement si on arrive à gérer la ressource sur site ça évite les coûts de transport. Bon après c'est clairement de l'économie de projet, mais ça participe aussi à limiter les émissions de CO2 de transport. On diminue le nombre de camions circulant sur la route donc on a un moindre impact sur les émissions de CO2. Après sur l'aspect pollution, si les sols sont pollués, et bien on évite de le faire sortir du site : le sol ne devient pas un déchet car il reste sur site. On trouve une situation sur site en confinement de manière à ce que le sol pollué soit sorti du site et traité par des organismes spécialisés. Quelques fois on n'arrive pas tout le temps à gérer la ressource sol sur site et on est obligé de le faire sortir du site, et donc on le chiffre et on le budgète. Ça s'est vu en phase amont justement. Et de plus en plus ça participe à une économie de projet, de pouvoir réutiliser les matériaux sur site.

8. **La MOA vous impose-t-elle des contraintes concernant cette gestion des sols sur site ? Concernant les m3 d'apport, d'export ?**

Ça ne s'est jamais exprimé en ces termes à ma connaissance. Il y a certains projets où la manière dont le terrain est configuré, tant en termes de pente que d'altimétrie… c'est une attente forte du MOA de dire que le terrain on ne va pas le remodeler parce que ça participe au cadre de vie, au confort d'usage des futurs usagers. C'est dit dans ces termes-là. Mais pas en chiffrant les quantités de m3 d'apport ou d'export.

9. **Quand vous faites des apports de terre végétale, avez-vous une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ?**

Oui, aujourd'hui c'est important de connaitre la nature physico-chimique de la terre végétale qu'on fait venir. Alors c'est par l'intermédiaire d'entreprises, c'est-à-dire qu'on a l'entreprise qui est recrutée, elle doit dans le cadre des cahiers des charge qui sont écrits par notre MOE, donner les éléments qui caractérisent la terre végétale qu'elle va apporter. Et le cas échéant, proposer des amendements qui permettent aux plantations de s'épanouir. Donc ça c'est impondérable. On ne discute pas aujourd'hui, c'est une obligation.

10. Sur le plateau de Haye, est-ce que vous connaissez la provenance de la terre végétale ?

Quand je la demande au MOE il sait me la fournir, mais après ce n'est pas forcément une nécessité tout le temps de connaitre sa provenance. Je fais confiance au MOE qui lui a obligation de vérifier avec l'entreprise… il doit le cas échéant garder trace de la fiche technique du lot de terre végétale, qui peut lui être demandé par moi, ou les services exploitants, service espace vert de la collectivité.

11. Cette problématique des sols prend-elle aujourd'hui de plus en plus d'importance dans le monde de l'aménagement ?

Non, c'est vrai qu'on a constaté une réelle prise de conscience de ces sujets-là. Il y a 10 ans c'était quelque chose qui n'était pas forcément constaté sous l'angle de la pollution. C'est la réglementation qui impose, qui nous a obligé à être plus vigilant et prendre conscience de bien caractériser les sols en amont pour participer à l'économie du projet. Et puis aujourd'hui aussi il faut savoir que les zones vierges à aménager se font de plus en plus rares et qu'on se retrouve, nous aménageurs, à devoir réaménager des sites qui étaient déjà exploités historiquement, des friches industrielles, qui ont toute une histoire, qu'il faut pouvoir interpréter afin d'aménager au mieux et d'optimiser au mieux les sols qui sont en place, qui ont subi pour certains des pollutions, des nuisances. On se retrouve de plus en plus sur ces genre de site. On n'est plus sur des sites où on arrive à la campagne, des sites vierges, de moins en moins…

12. En parlant de cette pollution, les analyses agronomiques sont aujourd'hui très orientées à ce sujet-là, est-ce qu'aujourd'hui vous avez une prise de conscience sur l'aspect plus agronomique de la qualité des sols, qui pourrait orienter le plan masse du projet ? Est-ce que vous seriez intéressé pour que ces analyses de pollution soient couplées avec des analyses agronomiques plus orientées fertilité du sol par exemple ?

Oui, effectivement on serait intéressé, et surtout l'équipe de MOE paysagiste qui conçoit le quartier, et qui lui aurait intérêt à avoir ces connaissances pour pouvoir positionner les espaces verts, en fonction effectivement de la qualité du sol. Après c'est vrai que le positionnement des espaces verts vient plutôt en dernier : on positionne d'abord les rues, les espaces constructibles, et en dernier et ben les dents creuses, les zones délaissées deviennent les espaces verts. On pourrait effectivement avoir un raisonnement qui serait de dire en fonction de la qualité des sols en place, définir les espaces verts en fonction des zones les plus propices pour recevoir des plantations et les emprises d'agrément pour les gens. Mais quand on dit ça il y a quand même aujourd'hui un indice, au-delà des caractéristiques physico-chimiques des sols, c'est la présence d'espaces boisés. On raisonne aussi maintenant de façon à préserver au maximum les espaces boisés. Et quand on préserve les espaces boisés on préserve aussi les sols en place. On essaie de ne pas dénaturer toute la partie de sol qui a été constituée par l'humus, la production du boisement. Et ça de plus en plus on en prend conscience, de ne pas dénaturer le site.

13. Est-ce qu'aujourd'hui vous trouvez que pour ces aspects de fertilité des sols par exemple, vraiment orientés agronomie, des interlocuteurs sont facilement disponibles ? Est-ce qu'il existe des outils pour prendre en compte ces aspects-là dans les projets aujourd'hui ?

Alors moi je n'ai pas de prestataire désigné sur ces sujets-là. Les seuls prestataires auxquels j'ai pu avoir à faire ce sont des laboratoires auxquels j'ai commandé des analyses pour caractériser des terres végétales que j'avais récupérées, pour voir si elles étaient encore réutilisables. Donc j'ai encore l'adresse d'un labo que j'avais mandaté. Au-delà de ça, on passe par le biais… on est souvent amené à faire des études phytosanitaires, quand je parlais des boisements avant, et ben pour voir la qualité des arbres pour voir s'ils sont aptes à être pérennisés dans le temps, et quelques fois on leur demande également de pouvoir regarder la qualité du sol. Donc on couple avec les analyses agronomiques du sol. Il y avait une troisième porte d'entrée pour moi, ce sont les services espaces verts des collectivités. Eux ont une compétence avérée, donc pour des sujets d'expertise dans ces domaines là je m'adresse à eux. Et ils sont des gens qui ont des compétences avérées quoi… Quand par exemple on a la charte de l'arbre en ville, où le système racinaire faut pouvoir le préserver quand on fait des travaux, avec la fosse d'arbre… voilà… Et puis même

les services espaces verts jardins, sont assez compétents dans le domaine entretien jardin, donc voilà moi je m'adresse à eux sur des sujets un peu de cet ordre-là.

14. **Je développe un outil qui vous aiderait, vous acteurs de l'aménagement, à appréhender peut être plus facilement cette question de prise en compte de la qualité agronomique des sols en amont des réflexions sur un projet d'aménagement. Est-ce que vous pensez que rajouter un outil, avec toute la réglementation qui existe déjà, ça ne contraint pas… enfin ça n'encourage pas l'acteur à l'utiliser ? Et que son utilisation dépendra fortement du contexte du projet et des acteurs qui le portent ?**

Aujourd'hui, ce n'est pas forcément une lourdeur supplémentaire, étant donné déjà les études que l'on mène… elles peuvent s'additionner dans une des missions des prestataires qu'on sollicite… Alors est-ce que c'est au géotechnicien qu'on confie ça lorsqu'il fait ses études géotechniques ? Est-ce que c'est au prestataire qui va analyser la pollution des sols ? Ou est-ce que c'est au MOE lorsqu'il va concevoir son projet, au paysagiste de regarder ces sujets-là ? Pour moi ça peut se faire assez facilement sans que ça crée une lourdeur supplémentaire. Il suffit juste d'y penser. C'est vrai qu'aujourd'hui on y pense que sur des dossiers à forte valeur ajoutée par rapport à ces sujets-là. C'est vrai que si l'on y pense quand on est sur la création d'un quartier avec un parc arboré, ou du moins des espaces verts qui sont on va dire une demande forte du maitre d'ouvrage… Après sur des dossiers plus classiques ce n'est pas quelque chose qui va être une priorité pour nous.

15. **On en revient à la sensibilisation des élus, est-ce que vous pensez que, eux pourraient encourager l'utilisation d'un tel outil ?**

Alors oui forcément ! Après, nous aujourd'hui on répond à des attentes et des besoins d'un client qui sont composés d'élus. Et effectivement aujourd'hui les élus ne sont pas forcément assez sensibilisés à ces questions-là.

16. **Donc ce travail de sensibilisation devrait être mené à chaque échelle ? Planification et intervention sur site ?**

Tout à fait ! Après, comme on dit, on a des études d'impact qui sont obligatoires… aujourd'hui, on est sur ces aspects-là on où traite plus ou moins régulièrement de ces sujets. Alors est-ce que réglementairement c'est par ce biais là qu'on pourrait insister un peu plus sur l'aspect qualité des sols, fertilité et autre… Certains prestataires le font, eux-mêmes, d'autres vont se cantonner à répondre à la réglementation en vigueur… Si maintenant il y avait un document administratif qui permettrait de bien figer les choses, à mon sens ce serait l'étude d'impact. Puisque… derrière, les sujets de fertilité d'espaces verts, si je ne me trompe pas ça rejoint quand même le sujet de la flore. Aujourd'hui on fait des études faune/flore, donc voilà on est dans l'obligation de vérifier que l'on n'est pas en présence d'espèces sensibles. Et donc derrière si des espèces spécifiques se développent, c'est bien parce qu'il y a une fertilité spécifique, vous voyez… Donc quelque part on l'aborde quand même malgré tout ce sujet-là.

17. **Donc finalement vous trouvez que la marge de manœuvre pour avoir une réelle prise en compte de la qualité agronomique des sols en aménagement du territoire elle n'est pas énorme ? Les analyses de pollution sont déjà faites, les études d'impact sont déjà faites…**

Voilà, ce n'est pas forcément un travail, je vais dire, qui vient rajouter une lourdeur supplémentaire. Faut juste y penser le moment venu, à une certaine étape du projet.

18. **Et au sujet de cette étape, vous pensez que ce serait plus intéressant pour vous de l'avoir plutôt en amont du projet ?**

Ah oui, tout à fait oui ! Pour moi c'est une certitude !

19. **Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Euh... bah sur le plateau par exemple on s'est posé la question de est-ce que le sol pouvait avoir la capacité de régénérer naturellement une végétation ? Parce qu'on a bougé des milliers de m3 de matériaux, dont certains se sont retrouvés à modeler une sorte de colline, qui lorsqu'elle a été modelée, a été totalement nue, hein, sans aucune végétation. On s'est intéressé à l'époque de savoir si ce sol-là, enfin ce matériau-là, était en capacité de venir accueillir une végétation ou pas. On a pris le parti de regarder, de laisser faire. Et bien nous en a pris parce qu'au bout de 5 ans, maintenant 10 ans, ça a marché, avec un développement d'arbres même. Ça nous a évité une dépense. L'autre solution aurait été de dire on vient projeter un mélange de terre végétale avec des graines dedans, qui viennent favoriser la végétalisation. On ne l'a pas

fait… Donc pour moi c'est une qualité d'un sol, de pouvoir… effectivement, le sol permet de spontanément, de recréer une végétation, voilà, après qu'il faudra le moment venu bien sûr accompagner, sélectionner en fonction des essences qui vont pousser… Hum… après la fertilité d'un sol aussi peut être intéressante lorsque l'on veut paysager un secteur. Quand on est par exemple sur des... un secteur de recueil des eaux de pluie. Parce qu'aujourd'hui ça va un peu de pair aussi, on traite les eaux de pluie à la parcelle, sur le terrain, on évite de créer des réseaux, on essaie de traiter l'eau en place soit par infiltration… et lorsque l'on crée des dépressions humides voire des bassins, il est toujours intéressant aussi de pouvoir profiter de la qualité du sol soit en place soit rapporté le cas échéant, pour favoriser la croissance des végétaux qui accompagnent l'aménagement du site. Donc pour nous la fertilité aussi c'est ça, c'est que le sol ait cette capacité à… toujours… à ce que les végétaux aient une bonne croissance et que ça vienne participer à une qualité perçue du site quoi.

20. Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet

Régulation de la qualité de l'air : je réfléchis hein… je ne veux pas répondre du tac au tac ! Euh… ça va être 1
Régulation du climat : euh… à ce stade 1
Régulation des aléas naturels : euh là ça va être 4
Stockage des déchets : euh… 5
Purification de l'eau : euh… 2
Habitat pour la biodiversité : euh 4
Biomasse : hum… 4
Ressource ornementale : 4
Energie : 1
Support d'infrastructures et bâtiments : 1
Support d'activités humaines : 1

C'est intéressant ça, parce que ça interroge sur certains sujets, effectivement… qualité de l'air on peut comprendre… voire régulation du climat, mais ce sont des sujets qui ne sont pas du tout abordés… Par contre quand on parle de biodiversité ou de production de biomasse alimentaire, les élus sont sensibles à ça aujourd'hui. De plus en plus ils vont venir demander des jardins partagés, des vergers que les gens qui habitent dans le secteur vont bénéficier. Ou bien la biodiversité on est toujours sur les sujets des cabanes à insecte… Tout ça aujourd'hui ce sont des choses qui sont éprouvées, c'est rentré dans les mœurs. C'est une vraie attente, ça a été tellement éprouvé que c'est rentré dans les habitudes. Donc reste à faire les autres qui ne le sont pas encore. Mais je pense qu'effectivement en partant des élus, de la sensibilisation, je pense qu'effectivement après toute la chaine va devoir s'y mettre quoi. Mais faut que ça parte de là-haut. C'est intéressant, ça permet de relever la tête de ce que l'on peut faire tous les jours, de nos démarches.

Entretien avec MOE – site MGN – PH (01.02.17)

1. Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?

Sur le travail que je fais au bureau, c'est un travail essentiellement de paysagiste, donc je m'occupe des aménagements des espaces publics, des abords de construction et de parcs et jardins… de tout l'ensemble des plantations qui accompagnent les différents ouvrages de voirie. Euh… donc la question essentielle sur le sol ça va être structurelle, pour pouvoir faire les constructions de chaussée, pour pouvoir organiser la place pour réaliser des fosses de plantation et ajouter des amendements nécessaires de terre végétale. Euh… donc j'ai un horizon qui n'est pas très profond en fait, qui va à 1m50 en fait maximum… Parce qu'ensuite je n'ai pas d'impératifs de construction, de charges très importantes quoi. Ça s'arrête en général à ça.

2. Aujourd'hui, quel est le rapport sol-chantier dans le monde de la maitrise d'œuvre ? L'objet sol a-t-il une importance ? Si oui ou si non, pourquoi ?

De prime abord, sur le métier de paysagiste et de rapport à la mise en place de végétaux… c'est essentiel… le sol c'est la base. En préalable on travaille d'abord le sol avant d'y planter le végétal, pour être certain qu'il puisse bien se développer. On procède à tout ce qui est analyses de sol et amendements qui s'en

suivent pour être sûr que ça marche derrière… Euh… Après… Ça c'est la base du jardinier disons quoi, presque. S'il ne travaille pas son sol, un jardinier n'y arrivera pas quoi… Mais ensuite, en effet, juste cette pratique-là amène sur des pratiques… quand on fait vraiment des rues, des espaces moins végétalisés, le côté voirie… tout ce qui est minéral… on prend un sol, on le substitue, on y amène des structures… Ça aussi ça a son importance. Là, de manière plus générale et sur le projet même du plateau, ça a été quelque chose d'assez important, parce que… enfin c'était une ancienne carrière protégée tout autour par des merlons en calcaire, qu'il a fallu supprimer, araser, pour pouvoir ouvrir cette autre partie au quartier qui existait déjà, pour poursuivre cette trame urbaine. Et cette question de quoi faire de ces merlons qui constituaient un énorme volume s'est posée… et ça n'a pas été transporté quoi, ça a servi à faire la plateforme de support pour les futures constructions. Donc on parle de la manière d'implanter le végétal, et là on parle de la manière d'implanter la ville sur une ancienne carrière. Donc là on est plus dans le minéral, et on crée… on part d'une plateforme complète pour créer un nouveau bout de ville. Donc c'est ce côté-là aussi.

3. **Sur le projet du plateau de Haye, y a-t-il eu des analyses sur le sol constituant les merlons ? Pour savoir où positionner cette quantité en trop… ?**

Alors là, les analyses je n'en sais rien du tout… Je ne sais pas s'il y a eu des analyses. Moi il me semble que de toute façon, ces merlons sont constitués des matériaux de l'extraction des carrières, donc ça reste de la plaquette calcaire du site. Donc, un calcaire plutôt gélif dans la région. Et c'est simplement, pour moi, ce qui a été extrait est remis… Parce qu'ensuite tout ce qu'on va faire sur ces plateformes préparées, là on refait de la constitution de chaussée, des fondations de bâtiments. Donc finalement il va y avoir encore une autre phase de changement de sol qui a été arasé quoi. Donc c'est un processus qui a permis d'ouvrir le quartier, mais le processus continue… c'est encore remanié.

4. **De ce fait, y a-t-il eu beaucoup d'apport de terre végétale sur le site ?**

Oui, oui, oui… Il y a quand même eu pas mal d'apports, car il y a très peu de terre ici.

5. **Avez-vous une connaissance de sa provenance ?**

Euh… on a à chaque fois des analyses de sols… Les entreprises proposent des lots qui sont en général proches… Enfin si ça il y a vraiment besoin de détails… je peux vous les donner. Je ne les ai plus en tête. C'est de la région quoi, globalement c'est du coin. Mais c'est vrai qu'il y a eu un apport de terre assez important… Parce qu'on a sur le site… Là où j'ai travaillé au début c'est vraiment le parc, donc ça, ça avait déjà été pré-verdis en 1985. Donc il y a eu une première couche de terre qui a été mise sur les remblais, sur les anciennes carrières, et ça été végétalisée. Donc il y a une petite couche de terre, mais ce n'est pas énorme. On voit aussi les horizons forestiers qui sont un peu plus anciens que le pré-verdissement qui constitue une barrière de la carrière. C'est pareil, ce sont des sols qui ont un horizon de 40 cm, donc les arbres poussent dans ce type d'horizons… sur les coteaux plus vers la ville. C'est toujours assez faible. Donc quand il a fallu revégétaliser pour les aménagements il a fallu faire des apports nécessairement. Donc à la fois on récupère la terre qui est sur place évidemment pour en profiter et puis on fait des compléments.

6. **Dans vos projets, vous accordez une importance à essayer d'avoir un équilibre entre terre excavée du site et terre apportée ?**

Bah… Tout ce qui est sur site au maximum on le garde. Et puis après ce qui est nécessaire d'amener on apporte… Mais globalement il n'y a rien qui sort quoi. Enfin, c'est un peu la philosophie autant sur ces merlons calcaires qui sont restés sur place que sur la terre… Par exemple il y a eu une construction dans une partie boisée, donc qui a été défrichée, la terre là a été récupérée pour le chantier qui est en cours… Donc c'est vrai qu'on voit aussi des qualités de terre qui sont très différentes, entre ce qu'on a sur des horizons faibles mais très chargés en humus et puis mélangés un peu avec la plaquette du site déjà, où forcément là il y a un travail différent quand on nous l'amène car on va devoir faire un travail de tri, et puis la terre végétale franche qui est amenée en pleine masse et qui *a priori* est de bonne qualité. Après il y a deux sortes de manières de travailler avec ces terres là, mais… Les terres de site sont assez bonnes ici.

7. **Quels sont vos critères qui permettent d'apprécier la qualité d'une terre ? Visuels… ?**

Oui… Il y a le visuel, mais c'est vrai qu'on demande systématiquement les fiches des analyses de terre aux entreprises… Euh voilà, et puis pour comprendre les équilibres…

8. **Et justement ces fiches d'analyses, est-ce qu'elles sont facilement appréhendables pour vous ? Est-ce que toutes les informations vous intéressent ? Ou est-ce que vous savez directement où allez chercher l'information dont vous avez besoin ?**

De prime abord ce n'est pas facile… Il manque une fiche de lecture avec. J'ai des bouquins pour pouvoir lire les fiches d'analyses. Donc pour moi c'est impossible sinon, c'est un exercice de petit chimiste… On est dans un truc où on passe trop de temps à faire ce qui n'est pas mon métier… Et pourtant, c'est assez important de comprendre ces fiches. Donc à chaque fois j'essaie d'avoir une fiche de correction, qui accompagne et qui permet de comprendre la fiche d'analyses. La fiche de correction donne la synthèse, fait la conclusion, et dit qu'il faut apporter telle ou telle chose, ou planter telle ou telle plante pour que ça se rééquilibre dans le temps… Mais ça on ne l'a pas très souvent quoi… Ce qui se passe c'est que comme on travaille là avec le Grand Nancy, il y a des personnes au service espaces verts qui connaissent très bien ce sujet. Donc c'est avec ces personnes-là que j'échange. Donc à force j'ai compris certaines choses, je vois les déséquilibres qu'il peut y avoir. On discute, on dit quel type de végétaux je peux apporter… Mais c'est vrai que l'expertise sol c'est plus eux qui l'ont. Et puis c'est vrai que ça c'est la partie importante pour la suite, car eux ils sont gestionnaires, ils ont une certaine charge là-dessus… Ils prennent la responsabilité de suivre le chantier et de voir ce qu'on fait et ce qu'ils vont suivre ensuite. Donc ils sont assez intéressés à ce qu'on met en place comme terre mais aussi comme végétaux. En général on discute.

9. **Est-ce que ces interlocuteurs ont un regard sur la gestion des terres du chantier ? Est-ce qu'ils suivent les apports/exports des terres ? Est-ce que même ils peuvent vous imposer de garder un certain pourcentage de terre sur site et un maximum de volume à apporter ?**

Ouais… je n'ai pas eu cet échange-là. Il n'y a pas de contraintes réelles… Le sol on est très vite sur la roche mère quoi. Donc on a très vite besoin de terre si on veut faire pousser quelque chose. Sur le parc, on avait un peu de terre comme ça en surface, on avait fait des analyses de sol pour voir comment on pouvait l'amender. Et donc on avait interpelé le Grand Nancy à ce moment-là pour voir comment on faisait, de mettre en place de nouvelles terres mais effectivement de se servir quand même de ce qui existe, pour ne pas dépenser à 100% de quelque chose qui est terrassé. On l'a fait sur des fosses d'arbres, mais on l'a fait aussi sur des prairies. Il y a un endroit qui était l'ancienne base vie, qui a servie au chantier, et donc eux ils avaient une sorte de constitution de structures pour poser tous les bungalows. Et on n'a pas souhaité tout virer, mais dire qu'on va réutiliser des matériaux pour faire une prairie sèche. Donc on a amendé la structure.

10. **Est-ce que les projets pour lesquels vous intervenez sont pluridisciplinaires ? Ou est-ce que vous avez l'impression que ça dépend de la problématique, du contexte, des acteurs qui portent le projet ? Est-ce qu'on a de plus en plus recours à des compétences nouvelles en aménagement ?**

Quand vous dites pluridisciplinaires… ? Euh… là je sais qu'en équipe maitrise d'œuvre, on est assez autonome là-dessus, et on joue… enfin on compte beaucoup sur les compétences des personnes sur site. Enfin le maitre d'ouvrage, leurs services techniques. Enfin pour Nancy pour moi c'est ça… L'équipe pluridisciplinaire elle se fait avec les services compétents. Et nous on est maitre d'œuvre d'aménagement… On n'a pas fait vraiment venir d'écologue… on l'a porté d'une manière autonome, enfin avec notre expérience… Ça dépend des milieux… Enfin sur d'autres projets de l'agence, par exemple à Grenoble où on était sur bord de fleuve, on avait d'autres compétences à avoir qui pouvaient nous épauler. Donc à ce moment-là des BET sont sollicités. Mais oui c'est dans des circonstances spécifiques. Là en particulier, on a un sol très calcaire, donc il faut faire avec, mais ça amène pas une grosse expertise au fond… On sait quel type de végétaux poussent sur ce sol, il suffit de regarder ce qui se développe, et puis on s'en inspire quoi.

11. **A ce sujet, avez-vous déjà travaillé avec des agronomes ou pédologues ?**

Ça m'est arrivé une fois dans une autre agence. C'est assez lointain. De mémoire, c'était plutôt une bonne expérience. C'était des gens sur qui on pouvait compter… En effet c'était, bah voilà, des botanistes et euh… ils faisaient aussi un peu de… comment on dit ? Pédologie. Et donc c'est vrai que quand on est plutôt dans des problématiques d'aménagement, voir tout ça comment ça s'organise, c'est vrai que c'est bien d'avoir quelqu'un sur qui s'appuyer pour être sûr que techniquement ça marche au niveau du développement du végétal. Sur le plateau, on a aussi travaillé avec d'autres paysagistes qui eux sont leur propre entrepreneur aussi et qui savent identifier dans la friche ce qui a une certaine valeur. Donc c'est un travail qui a été mené aussi sur ce parc. Je pense que cette expérience de terrain a apporté beaucoup quoi.

12. **En amont du projet, quels documents, quelles études consultez-vous ? Vous tournez-vous vers la maitrise d'ouvrage quand il vous arrive d'avoir des attentes spécifiques ?**

C'est le document de Fondasol… qui est complété normalement avant les travaux pour les études par la MOA, et si on voit qu'il manque des informations, on va faire des sondages.

13. **Outre ces aspects de sol, est-ce que vous consultez systématiquement des documents sur l'état de l'environnement… ?**

Oui, ça c'est nous qui le faisons. C'est ce qu'on appelle l'état des lieux : on fait un relevé de la flore. Mais cette approche-là a été faite après coup, c'est pareil. Sur le parc, comme les deux intervenants paysagistes qui intervenaient avec nous travaillaient à l'école du paysage de Versailles, ils avaient proposés aussi de faire, avec leurs étudiants, des séminaires sur une semaine, de faire des relevés. Donc relevés floristique et faunistique aussi. Ce qui avait permis de bien comprendre les structures végétales. D'expliquer ce qu'on pouvait faire de ces espaces-là, comment les entretenir.

14. **Aujourd'hui, pour prendre en compte le sol dans vos pratiques professionnelles, est-ce qu'il existe des outils ? Est-ce qu'ils sont facilement abordables ? Compréhensibles ? Simples ? Est-ce qu'il existe des interlocuteurs ?**

On parle de quelle échelle ? Parce que c'est vrai que sur Géoportail on va trouver un ensemble des couches géologiques, mais ça reste sur des échelles qui sont très grandes. Donc c'est vrai que pour rentrer dans le détail, et voir s'il y a une concentration de vidange ou je ne sais quoi… on ne saura pas. Si on veut du détail, c'est un peu comme les fiches d'analyses de sol. Tant qu'elles ne sont pas accompagnées d'une vraie analyse, elles ne constituent pas une vraie analyse. De mon point de vue, une analyse c'est le moment où l'on croise différents éléments et où on est capable d'expliquer comment ils sont fait quoi. Donc ça constitue les analyses historiques, faire le lien entre différentes choses et pouvoir en tirer des conclusions. Et proposer, en fonction du projet qui va venir, vraiment comment on fait quoi.

15. **Aujourd'hui, le principal manque serait vraiment cette difficulté de lecture des fiches d'analyses de sol et leur manque de synthèse ?**

C'est un peu comme vous dites. On a des compétences d'un BET vraiment spécialisé, donc dans ce cas c'est cette personne qui est vraiment capable d'analyser, ou alors il faut vraiment que sur la fiche il y est la conclusion, pour que l'on puisse comprendre. Mais on a eu ce cas où un bâtiment a été démoli, les caves remblayées, des abords très stationnés, avec des structures de chaussées d'une certaine époque. Donc ce sont des éléments qui sont quand même un peu pollués. Donc on s'est retrouvé pendant quelques mois avec ces éléments qu'il fallait analyser… On savait que ce n'était pas trop pollué pour envoyer en décharge. Mais c'est vrai que le temps d'avoir ça, ça a mis énormément de temps. Et euh… Alors que bon au final ce qui était simple c'était de prendre ça et de mettre ces matériaux en remblai… Mais ça aurait pu être dit dès le départ : on prend ça on le déblai, et puis on le remblai à tel endroit. Mais c'est vrai qu'il y a eu un BET à l'époque qui avait fait des analyses du tas et qui avait dit qu'on devait faire une analyse historique. Donc c'est vrai qu'il y a un certain protocole à respecter. Et on a senti que la maitrise d'ouvrage ne voulait pas trop s'avancer là-dedans. Parce qu'après c'était au risque de se retrouver avec des polluants… Car voilà, comme vous l'a dit SOLOREM, aujourd'hui on travaille énormément sur des sites déjà urbanisés ou d'anciens sites industriels pour pouvoir prolonger l'urbanisation. Et on se retrouve avec des problématiques de sols qui sont souvent pollués. Donc ce n'est pas simple, parce qu'on est souvent obligé d'externaliser dans des sites de tris spécifiques, qui coutent très chers.

16. **Généralement, on fait cette analyse de polluants, mais est-ce qu'il serait intéressant pour vous de coupler cette analyse avec une analyse plus agronomique, par exemple pour voir la fertilité des sols en place ? Est-ce que vous trouvez que ça se fait déjà ? Ou est-ce que c'est assez rare ?**

Ben il me semble qu'il manque la synthèse là-dessus. Je pense qu'il y a encore des vieux tics de remplir des cahiers des charges, de dire comment une structure est faite et donc de réaliser une substitution complète du sol qui existe et qui est finalement déjà intéressant en soit. Et c'est vrai que des fois il y a des moments où l'on se dit… On n'a pas toujours les études en amont, mais c'est vrai que quand on est sur le site à terrasser et à voir avec une pelle ce qui se passe, ce qui manque peut-être aussi à amener au début des études d'ailleurs… de comprendre que le sol il n'est pas si mal portant, donc qu'on ne va pas avoir besoin de remplacer en constitution de chaussées, on a juste besoin de retraiter la surface, de faire la couche de pollution… qu'un sol est plutôt fertile et qu'on n'a donc pas besoin de faire un effort conséquent. Donc ça effectivement c'est intéressant. Ça fait partie de l'économie du projet.

17. **Est-ce que vous trouvez que les élus sont assez sensibles à cette question ? Ou qu'il y a encore une marge à faire ? Ou que pour eux ce n'est pas une problématique vraiment importante et qu'il y a d'autres problématiques à faire passer avant ?**

Ca je n'en sais rien… Faut leur poser la question ! Mais je n'ai pas l'impression que c'est ce dont on parle en premier. En tout cas ça ne fait pas partie du cahier des charges au début. Le principal c'est de rentrer dans le budget. Après si tout ça participe à une économie c'est vrai que je pense qu'ils seraient intéressés… Après c'est sûr que c'est quand même un peu vertueux tout ça : on ne fait pas trop d'exports, on ne fait pas rouler des dizaines de m^3 sur les routes. Et puis ça s'explique plutôt bien, ce n'est pas une démarche désagréable.

18. **Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Quand vous parlez de services écosystémiques… ce sont les services que va rendre le sol ?

19. **Oui voilà, souvent on parle de service de support de bâtiment, ou même de régulation en disant que le sol peut stocker du carbone et donc participer à l'atténuation du réchauffement climatique…**

Ah ça, je ne savais même pas… Euh… Oui, alors… on va parler du bon développement des végétaux, de la structure même du sol pour pouvoir porter des bâtiments et les chaussées… J'ai entendu dire qu'il apportait de la chaleur aussi le sol…

20. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Régulation de la qualité de l'air : ah ça je ne savais pas que le sol pouvait faire ça… Euh… bah je ne connais pas du tout, mais oui ça a l'air important, mais je ne m'en rends pas compte… Donc oui, 3… Euh… il y a un truc important c'est le fait que dans les projets le sol reste vivant quoi, qu'il puisse être filtrant, qu'il y ait une liaison entre l'air et la terre. Il y a des questions de drainage, comment on freine le ruissellement de l'eau quoi…

Régulation du climat : mais le sol… en général quoi… c'est toute sorte de sol… pour moi c'est le sol végétalisé… ça je pense que ce n'est pas… je n'ai pas l'impression qu'on s'en préoccupe trop… on va mettre 1

Régulation des aléas naturels : oui ça c'est très important… on va mettre 5

Stockage des déchets : oui…. Bah ça c'est 5 aussi, on s'en préoccupe beaucoup…

Purification de l'eau : très important, oui, oui, 5

Habitat pour la biodiversité : ouais bah c'est dans la diversité des plantations quoi plus, ça c'est de temps en temps… 3

Biomasse : ah oui c'est bien c'est important… 5

Ressource ornementale : 5

Energie : oui bon alors ça c'est quelque chose de personnel que je ne vois pas sur les projets… je n'ai pas d'exemples… donc 1

Support d'infrastructures et bâtiments : ah bah oui ça c'est important, c'est 5 ça

Support d'activités humaines : oui c'est la même chose, 5

Entretien avec Aménageur – site MGN – HC (31.01.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

D'accord, ben en tant qu'aménageurs l'approche elle est double. Elle est d'abord technique : le sol est le support des aménagements que l'on va réaliser, donc aussi bien pour des infrastructures (voiries, réseaux), que pour des bâtiments qu'on va faire construire sur le dessus. Donc l'échelle en infrastructure c'est quoi ? C'est de 2 à 3 mètres à peu près et puis en bâtiment ça peut être beaucoup plus, notamment en fonction de la nature du sol. Donc là pour le coup on est sur des sols je dirais naturels, non modifiés par l'Homme ; sur d'autres sites on sait qu'on a 3 mètres de remblais en dessous donc ça sera plus différent. Donc c'est technique et c'est à la fois, comme on fait des aménagements… aussi… comme on aménage des espaces publics, il y a aussi la dimension paysagère : le sol c'est aussi le support des plantations, des

aménagements d'agréments qu'on va faire sur le site. C'est deux approches différentes, parce que derrière, notamment les services qui récupèrent la gestion des espaces, sont assez sensibles à la qualité des terres qu'on remet en place, les teneurs en matière organique, enfin toutes ces choses-là.

2. **Dans votre métier, vous trouvez que ces deux approches ont le même niveau ou il y en a plus une qui prévaut sur l'autre ?**

Ben historiquement, l'approche vraiment technique a quand même primé sur le reste. Après on est peut-être dans un basculement, où effectivement… même au niveau de l'aménagement ou quelque part, sans parler du sol, mais parler de la consommation du foncier agricole, c'était pas du tout un sujet il y a quelques années, aujourd'hui c'en est un. Aujourd'hui, avant d'enclencher une opération qui consomme du foncier, il y a un temps et maturation et en tout cas on se pose la question de s'il n'y a pas d'autres solutions, si on ne peut pas travailler, retravailler sur des zones qui ont déjà été urbanisées, plutôt que consommer du foncier agricole où on sait que c'est quasi irréversible, voilà une fois que c'est urbanisé, on revient difficilement en arrière.

3. **Par rapport à la manière dont votre métier se rapporte au sol, le prend en compte. Si vous pouvez donner des exemples principalement avec le projet de la Haie Cerlin. Aujourd'hui est-ce qu'il y a un rapport fort entre le chantier et le sol et est-ce que dans le monde de l'aménagement le sol était pris en compte ? Est-ce qu'il a une importance ? Et si non, est-ce qu'il devrait en avoir une ?**

Ben le sol oui, forcément, par rapport à ce qu'on disait, il a une importance, parce que nous dans notre métier, dès les premières étapes de réflexion, avant même de commencer à réaliser l'opération concrètement sur le terrain, dès les premières étapes, on va faire des études d'impact, on va faire tout un, une liste d'opérations et d'études préalables. Souvent des études qui découlent des textes de loi, donc du code de l'Environnement, la loi sur l'eau les études d'impact. Donc déjà là le sol, enfin la nature du sol sur le site projeté est déjà appréhendée : est-ce que le sol il est perméable, est-ce qu'il est de nature, enfin, est-ce que sa nature est conforme avec le projet qu'on vise ? C'est des choses qu'on appréhende dès le début. Euh, et puis après quand on est dans les phases de conception, les concepteurs qu'on va nous mandater, et ben ils doivent prendre en compte la nature du sol. Là pour le coup à Seichamps on est sur des terres quand même relativement agricoles. On a les risques, on est sur une zone d'aléas de gonflements des argiles, d'aléas moyen, donc y a quand même pas mal de sinistres sur la commune qui ont été déclarés ces derniers étés, donc euh… Il y a une prise en compte de ce risque-là. Et puis après en réalisation, ben de la même manière, c'est vrai que le sol quand on fait des aménagements, le sol il colle aux roues des engins. Donc la nature du sol a aussi son importance en soit. Et puis après effectivement, la réutilisation des terres c'est aujourd'hui aussi un vrai sujet, le stockage des terres pour les réutiliser après dans les aménagements paysagers. Donc oui, on peut dire qu'on le prend en compte du début à la fin.

4. **Est-ce que vous trouvez que les projets d'aménagement sont plutôt pluridisciplinaires ?**

Euh, ben nous par définition, on est dans un métier qui est quand même assez pluridisciplinaire, parce qu'on touche à la fois à la sphère locale politique, enfin des acteurs locaux, quand on intervient en tant qu'aménageurs publics, et puis, comment dire, après on va avoir à faire, on a tous les acteurs de l'acte de construire, donc architectes, des bureaux d'étude, des entreprises, et puis de par notre métier de vendeur de terrains, on a affaire à des préoccupations assez différentes. Ça peut être des promoteurs, des particuliers à qui on vend directement des terrains à bâtir, et puis des acteurs du monde économique, des entreprises, des commerçants, des, voilà… Donc c'est assez large. Après dire que ça recoupe toutes les strates de la population et toutes les compétences on ne peut pas dire ça. Mais c'est quand même un métier où du début à la fin on a côtoyé je dirais des gens et des compétences assez variées.

5. **Est-ce que justement en parlant de pluridisciplinarité, il vous est déjà arrivé de travailler avec des agronomes ou des pédologues ?**

Alors euh… pas spécifiquement. On a je dirais le tronc commun d'études, on a une base d'études qu'on fait dans tous les cas, mais qui est essentiellement géotechnique, et puis ça peut être des petites études particulières, comme là on fait à destination des particuliers à qui on vend le terrain, mais c'est orienté, c'est orienté compatibilité par rapport à l'usage projeté. Donc c'est plutôt sous l'angle détection des pollutions. Après, l'approche… je dirais on n'a pas eu à faire je dirais de mon côté, je n'ai pas eu à faire, avoir nécessité d'avoir une approche plus poussée, notamment sur l'aspect plus agronomique. Après on peut avoir, ça se fait beaucoup aujourd'hui, notamment dans des projets d'aménagement, par exemple, des

projets de jardins partagés, où là effectivement si on est sur un sol je dirais, un peu artificiel, et qu'il faut reconstituer un sol euh… sain pour cet usage-là, là effectivement, on peut avoir… Moi personnellement je n'ai pas eu à faire à ce type de projet. Mais on travaille aussi bien sur des projets d'aménagement avec des pollutions ou des sites qui ont été très pollués. Donc effectivement les problématiques sont très différentes.

6. **Vous avez déjà eu à faire à des analyses agronomiques ? Est-ce qu'elles sont facilement appréhendables quand on n'est pas experts ? Est-ce qu'il y aurait des choses à changer ? Si vous savez directement quel élément aller trouver, donc le reste n'a pas d'importance, car vous vous concentrez uniquement par exemple sur les pollutions ?**

Bah je pense… Enfin moi à titre personnel l'agronomie c'est quelque chose qui m'intéresse, donc je suis assez intéressé par ça, par tout ce qui est, par la culture maraichère, c'est des choses qui m'intéresse, que je pratique à titre personnel. Donc je pense que moi personnellement j'y serais peut-être un peu plus sensible. La vie du sol, ces choses-là c'est quelque chose qui m'intéresse. Après effectivement, avec la casquette purement aménageurs, ce ne sont pas des préoccupations majeures. Effectivement, quelque part par rapport à cet équilibre-là, on vient plutôt déstabiliser le fonctionnement du sol. Donc ça évolue, mais par nature, quand on viabilise des terrains naturels, ben on vient un peu détruire ce qui existait.

7. **Et sur ce sujet d'extension urbaine, vous arrivez à vous convaincre en vous disant qu'on a besoin de logements, de commerces en plus, et qu'aujourd'hui c'est un peu difficile de reconstruire sur des zones déjà urbanisées, car le foncier n'est pas forcément disponible ?**

Oui alors le foncier n'est pas toujours disponible. Je dirais on est toujours partagé entre le fait de vivre de notre activité, car quand on a un nouveau projet c'est quand même ce qui nous fait vivre, donc l'aspect économique est quand même essentiel. Après effectivement on est dans un cadre, on est une société d'économie mixte où il y a l'aspect intérêt général qui prime aussi. Certainement une zone comme la Haie Cerlin, je pense, vraiment à titre personnel, que c'est une opération qui a été initiée en 2007 : ça fait 10 ans. Je pense qu'aujourd'hui cette opération-là elle ne sortirait certainement plus. Je pense qu'aujourd'hui on réfléchirait certainement à la manière de, voilà, est-ce qu'on ferait à cet endroit, est-ce qu'on le ferait peut être pas à un autre endroit. Est-ce qu'on ne réfléchirait pas plutôt à une requalification ou travailler sur des espaces un peu plus morcelés. En 10 ans, je pense que les choses ont évolué assez sensiblement.

8. **Et ça vous le voyez vraiment dans vos pratiques quotidiennes ?**

Ben on le voit, et puis on voit surtout les collectivités qui elles ont un peu l'initiative… On le voit notamment sur la métropole de Nancy car il y a une intégration maximale des compétences. C'est-à-dire, aujourd'hui tout est centré sur les compétences de services de la métropole, qui prennent le pas sur les communes, avec un document d'urbanisme intercommunal, avec des réflexions… Je sais qu'ils sont vraiment en réflexion avec les métiers de l'agriculture. Alors c'est un travail qu'on avait déjà fait, en parallèle du montage du projet, on a eu pas mal de discussion avec la chambre d'agriculture. Mais plus sous l'angle on prend du terrain à des agriculteurs en place. Donc la chambre d'agriculture était là pour évaluer en pourcentage ce que ça représentait pour les exploitations concernées. Pas tant sur l'aspect écologique ou agronomique de manière générale. Mais aujourd'hui je pense qu'une opération de cette ampleur-là serait appréhendée différemment en tout cas. Et en tout cas, il y aurait un choix, comment dire, entre guillemet, le prix de la terre, si je peux dire comme ça, serait appréhendé un peu autrement. Alors je sais que dans d'autres pays c'est appréhendé… Je sais qu'en Allemagne notamment, ils sont beaucoup plus, ils se posent beaucoup plus de questions et en tout cas ils sont, il y a des compensations qui doivent être faites ailleurs dans le territoire. Il y a un système qui est plus stricte.

9. **Au sujet de la terre végétale, est-ce que vous dans vos projets, vous accordez de l'importance aux problématiques de gestion de sol sur place : qu'est-ce qu'on garde sur place, qu'est-ce qu'on enlève, pourquoi on l'enlève ? Est-ce qu'il y a une réutilisation des sols sur place en fonction de leur qualité ? Est-ce que vous avez un suivi des sols qui sont potentiellement mis en décharge ou qui reparte du chantier car ils sont en excédents ?**

Alors la réponse est bien évidement oui, il y a un suivi. Parce qu'effectivement la terre, et les 20/30 premiers cm de manière générale sont récupérés. Alors nous on est dans un cas particulier, où effectivement cette terre-là elle est excédentaire sur le site. Et qu'effectivement, on ne peut pas dire qu'on est dans un secteur où on est tendu de ce côté-là. Il y a des endroits en France où la terre végétale elle a une grande valeur car effectivement on en trouve peu. Chez nous ce n'est pas très tendu. Donc au final

c'est quelque chose qui a de la valeur en soit, mais il faut presque payer quand on en a en excédent. Donc ça c'est un petit peu paradoxal. Et puis oui, il y a une réflexion sur le reste. Normalement dans les marchés, les terres non valorisables doivent être évacuées dans des décharges agréées, c'est une question, ça fait partie du cahier des charges des marchés. En général, à partir d'une certaine ampleur de l'opération, il y a quand même une réflexion qui est menée sur les hypothèses de réutilisation en place, avec un traitement de sol, à la chaux, au ciment. En général on demande que ce soit étudié en amont. Là pour le coup, à partir du moment où on a des terres avec des taux d'argile importants, c'est difficile quoi. Avec des limons, c'est plus facile, dans d'autres secteurs… Là pour le coup sur Seichamps on avait fait faire une étude de traitement en place, une étude en laboratoire, mais qui avait conclu, voilà, par le fait que c'était difficile… Les résultats n'étaient pas probants et puis c'est très dépendant de la météo. Si on a des sols très humides, ça ne fonctionne pas bien.

10. **Avez-vous eu un suivi de la terre excédentaire sur Seichamps ? Où elle est partie, où elle a été mise ? Est-ce que le Grand Nancy l'a réutilisée sur d'autres sites ? Par exemple, en contexte urbain où il y avait plus de besoins ?**

Alors la terre végétale oui, celle de la deuxième tranche, qui est stocké, on a dû en récupérer environ 2000 m3, sachant qu'on en avait déjà un stock important sur la première phase qui n'était pas utilisé. On a essayé de trouver un débouché sur la terre de la deuxième tranche. Donc je crois que sur les 2000, 1500 sont récupérées par la métropole, et l'entreprise d'espaces verts qui travaille pour notre compte récupère les 500 autres. On lui donne, très clairement, parce que ça lui coûte le transport en fait. Ils la réutilisent pour leurs projets d'espaces verts, pour des plantations. C'est de la terre qui est de bonne qualité. Les services de la métropole m'ont contacté car ils ont une charte par rapport à la qualité de la terre qu'ils utilisent. Et comme c'était une terre agricole, je crois qu'ils font des analyses pour rechercher des éventuels produits phytosanitaires.

11. **Quand vous parlez de terre de bonne qualité, est-ce que c'est parce que vous êtes sur un site agricole, donc de base elle est de bonne qualité, ou… ? Comment vous appréhendez cette qualité ? Est-ce que c'est le visuel… ?**

Le visuel et surtout les services de la métropole sont venus voir. Eux de leur côté font une analyse sous l'angle agronomique. Je leur ai demandé d'avoir pour information le rapport, mais je ne sais pas si les analyses ont déjà été faites ou pas. Ils doivent les récupérer avant la fin de l'hiver, les 1500 m3 de terre, et les centralisent sur un site…

12. **En élément de conclusion, est-ce qu'aujourd'hui, la place du sol a vraiment une importance dans les projets ? Est-ce que vous trouvez qu'on est dans un basculement et que cette question agronomique de fertilité des sols, y compris en ville, à sa place et commence à prendre de l'ampleur dans les réflexions ? En dépassant le côté pollution ? Par quoi cela se traduit ? Est-ce qu'il y a des outils qui existent déjà pour faciliter cette démarche pour vous, aménageurs ? Ou est-ce que ça reste aléatoire ?**

Ben euh… pff… ça reste encore aujourd'hui très aléatoire, et ça va vraiment dépendre aussi de la sensibilité des acteurs à cette question-là.

13. **Et quand vous parlez de sensibilité, c'est au niveau de leur passé professionnel ? De leur formation ?**

Oui, et puis aussi au niveau de ce qu'on projette dans un nouvel aménagement. Au niveau des collectivités, des élus, je pense … Parce que derrière quand on parle… Si on dit qu'on veut maintenir un sol… Dans un projet il y a toujours une part d'artificialisation, mais si on dit qu'on veut maintenir une partie… Bon derrière ça passe souvent par des questions de jardins partagés, ou de parcs. On maintient le sol en place. Souvent ça se traduit aussi par un investissement de la part des collectivités : un investissement au sens gestion, voilà… Quelque part c'est presque plus facile de faire un parking en béton… Ça veut dire que derrière il y a une gestion, il y a une implication… Bon après des fois il y a des citoyens qui prennent la main dessus. Mais en règle générale il y a toujours la puissance politique qui est là derrière. Et s'ils ne sont pas là derrière pour avoir cette demande là et s'ils ne sont pas là derrière pour assurer la gestion, ben c'est difficile de projeter quelque chose qui derrière ne sera pas géré.

14. **Et est-ce qu'aujourd'hui il y a plus cette attente-là de la part des collectivités ?**

Oui, ça oui, c'est aussi les citoyens qui poussent de ce sens-là. Mais c'est… Dans les esprits ça avance. Mais la traduction concrète dans les terrains c'est encore un petit peu embryonnaire, un peu timide.

15. Est-ce qu'il existe déjà des outils, des études, des interlocuteurs pour faciliter aujourd'hui la prise en compte agronomique des sols dans les projets ?

Facile, non, car nous dans notre métier ce n'est pas… J'aurais peut-être ma petite idée vers qui m'orienter… mais ce n'est pas habituel pour nous, ce n'est pas des interlocuteurs habituels. Donc je pense que pour la plupart des aménageurs, ils ne sauront pas trop vers qui se tourner. On sait qu'il y a des organismes publics, ou voilà type… alors à Nancy on est bien doté car il y a l'INRA. Alors voilà, après des acteurs privés je ne sais pas… Après on va peut-être être plus en lien avec des acteurs de monde agricole, de ce type-là.

16. Est-ce qu'il serait utile de coupler analyses de pollution qui sont faites aujourd'hui et analyses agronomiques à proprement parlé, notamment concernant la fertilité des sols en ville ?

Ça pourrait en avoir un, après effectivement la différence c'est que l'analyse agronomique ça va être un élément, je dirais, comment dire… qualitatif. Nous la pollution on l'envisage comme un élément risque en fait. C'est purement dans le cadre d'une convention où on envisage la vente d'un terrain, euh… on se couvre entre guillemet… on vend à un particulier qui n'est pas un professionnel donc on doit l'informer au maximum. Là, l'agronomie on est vraiment dans quelque chose de qualitatif, euh… c'est peut-être là que c'est un peu différent… Elle ne servira pas forcément à tous les acteurs avec lesquels on va travailler. C'est pour ça que jusqu'à maintenant, c'est quelque chose qui est réservé à la métropole, par exemple au service des espaces verts, ils vont récupérer la terre, donc ils vont cibler une analyse… Bon on pourrait le faire, mais objectivement dans le cadre de notre… Bon on n'est pas allé jusqu'à dire, par exemple aux parcelles qu'on vend aux particuliers, à mettre en avant la qualité agronomique des sols pour leur dire « vous voyez ce terrain-là il est parfait pour faire votre potager ou planter tel arbre fruitier ». On n'est pas allé jusque-là encore. Après ça pourrait être une information qu'on leur donne. Effectivement, je pense que dans la pratique on a des échantillons et qu'on est allé chercher le plomb ou les hydrocarbures, ça coute peut être plus très cher d'aller regarder des éléments sur le pH, peut être… Mais aujourd'hui ce n'est pas encore quelque chose qui serait utile pour nos interlocuteurs.

17. Est-ce que vous utiliseriez l'outil d'aide à la décision ? Quelles seraient vos motivations pour le faire, ou au contraire les freins à son utilisation ?

Bah je ne vais pas vous mentir, ça ne transcendera pas mon projet, après euh… faut voir ce que ça coute… Mais oui, ça peut être une manière de se démarquer dans le, comment dire… dans la manière de vendre le projet. Effectivement, je pense que ce n'est pas habituel de pouvoir offrir ces analyses-là aux personnes qui viennent s'installer dans le quartier… Donc, euh, oui ça peut être un plus. Mais c'est plus en forme de clin d'œil. Ça ne va pas conditionner le projet, ou permettre de le vendre plus facilement. Ça peut permettre de communiquer sur des actions, ça oui, pourquoi pas.

18. Est-ce qu'il serait primordial d'aller sensibiliser les élus et collectivités à ce sujet-là ?

Bah je pense que oui. Je pense que sur ces sujets-là, si vous voulez faire avancer les choses, il faut travailler des deux côtés : en partant par le haut… concrètement si vous allez voir des élus à la métropole ils vont vous dire qu'ils sont déjà au courant de ça et qu'ils le prennent en compte. Mais entre ce qui se fait à ce niveau-là et la traduction sur le terrain, il y a pas mal d'étages, d'étapes de contraintes à intégrer. Donc je pense qu'il faut à la fois le faire par le haut et puis trouver effectivement des approches un peu innovantes, directement appliquées sur le terrain. Parce que si vous attendez qu'en allant convaincre les élus ça se traduise demain sur le terrain… Voilà vous allez avoir différentes contraintes, déjà celles budgétaires, qui font que ça limite les initiatives.

19. En ordre de grandeur, quel pourrait être le prix que vous pourriez accorder à des analyses agronomiques, en comparaison avec des analyses de pollution qui sont déjà faites aujourd'hui ?

Je ne sais plus, les analyses de pollution ça doit nous revenir… pour la phase 2… je sais plus, 3 ou 4000 euros à peu près. On a dû faire une dizaine de sondage. C'est l'ordre de grandeur. Après je ne sais pas ce que ça peut nous couter d'ajouter des éléments agronomiques. Après y a un élément auquel je pense qui est important, est ce que le terrain on peut l'analyser en place, tel qu'il est. Donc du point de vue agronomie on se limite à une certaine épaisseur. Par contre ce qu'on constate bien souvent, c'est que quand il y a des constructions, les gens ils font n'importe quoi : ils mélangent toutes les terres, le terrassier qui vient à l'issue de la construction il vient remettre… Donc c'est vrai que ça nécessite d'avoir peut être de

la pédagogie vis-à-vis des constructeurs, pour bien séparer les terres et les remettre au bon endroit. Bien souvent on voit que les pavillons autour… la terre qui a été remise dessus c'était des marnes, des gros blocs… voilà. Donc celle-là avant qu'elle retrouve de la fertilité il va se passer un peu de temps.

20. **Quels sont les 2/3 principaux services rendus par le sol que vous pourriez me citer auxquels vous accordez de l'importance quand vous arrivez sur un site de projet ?**

Par rapport à un projet d'aménagement ? Bah oui effectivement, l'aspect euh… gestion, enfin écoulement des eaux est celui qui me vient à l'esprit en premier. Surtout pour le cas de Seichamps, on est dans un site où il y a eu des inondations en 2012, qui a généré pas mal d'inondations en aval. Donc ça… euh… je pense aussi sur le climat par rapport à la capacité, enfin notamment à l'échauffement en été. Enfin, pendant les périodes de canicule, il vaut mieux être sur un sol naturel qu'être sur du béton. Enfin je pense que c'est du bon sens. Je pense que c'est aussi important par rapport au climat. Après je ne sais pas comment ça s'appréhende à l'échelle macro quoi. On constate qu'il vaut mieux être inscrit sur une pelouse que sur du béton quoi, mais après au niveau des modifications du climat à une échelle plus grande ça a une importance, ça je ne sais pas le dire. Donc euh…on a ça… l'eau… Ah et puis on a peut-être aussi l'absorption, enfin tout ce qui est absorption du carbone, les plantes aussi travaillent à l'absorption du CO2, donc je pense que c'est en cela que le sol est important. Après, comme ça, je ne pense pas à d'autres…

21. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Régulation de la qualité de l'air : on en parle beaucoup, donc oui, 4
Régulation du climat : 4
Régulation des aléas naturels : 5
Stockage des déchets : euh… oui alors par rapport à la problématique… oui c'est plus ponctuel… c'est spécial… oui aller 3
Purification de l'eau : 5
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 5
Ressource ornementale : c'est important, 5
Energie : 4
Support d'infrastructures et bâtiments : je ne peux pas vous dire le contraire ! 5
Support d'activités humaines : oui bah 5 !

Entretien avec Chef de chantier – site MGN – HC (10.11.16)

1. **En général, quelles sont pour vous les limites du sol dans l'espace ? Quelle est la profondeur du sol selon vous ? Comment distinguez-vous sol et matériau géologique ?**

La différenciation se fait visuellement : on repère la première couche de terre végétale grâce à sa couleur, et puis ensuite on regarde quand on a un changement de couleur.

2. **De manière générale, trouvez-vous que la question de la qualité des sols sur site a une importance dans vos chantiers ?**

Oui, notamment pour récupérer la terre végétale, pour la stocker. Les analyses permettent aussi de connaitre la nature du site, savoir s'il est plus rocailleux, argileux, s'il y a de l'eau ou une absence d'eau

3. **Si oui, à votre avis, quels sont les principaux critères qui motivent cet intérêt ?**

Les critères énoncés avant : nature du site et terre végétale

4. **Vous est-il arrivé de rencontrer des agronomes et pédologues venant réaliser des analyses de sols sur les chantiers ?**

Non, mais nous avons un laboratoire de sol chez nous pour savoir comment traiter les sols en place. Ils viennent prélever des échantillons pour connaitre la nature du terrain et puis la teneur en eau

5. **Si oui, les résultats de leurs études vous intéressent-ils ? Pourquoi ?**
   Oui, comme évoqué avant
6. **La maitrise d'ouvrage ou la maitrise d'œuvre donnent-elles des contraintes en termes de gestion des sols sur le chantier ?**

Les contraintes données sont généralement de décaper les 30 premiers centimètres de sol, pour stocker terre végétale qui sera ensuite réutilisée sur site ou exportée. Des fois, si en creusant on trouve une autre

bonne terre on la stocke de côté aussi, à part, pour qu'elle puisse aussi être réutilisée. Généralement, ce sont les consignes données pour à peu près tous les projets = décaper les 30 premiers centimètres

7. **Si oui, de quelles natures sont-elles ? Pouvez-vous donner des exemples ?**

Voir question ci-dessus

8. **De manière générale, trouvez-vous qu'il y a une volonté de réutilisation sur site des sols en place, afin de limiter les apports et exports de matériaux ?**

Oui, par exemple sur la Haie Cerlin, la terre végétale stockée sera réemployée sur site. Sinon, elle part au Grand Nancy, s'il y en a trop

9. **Quels sont les critères pour apprécier la nécessité de l'apport de matériaux terreux ? Qui décide de la source d'approvisionnement ?**

Des fois, les chantiers sont plus rocailleux, il y a moins de terre végétale. Par exemple aux Hauts du Lièvre ou dans Nancy. Il manque de terre végétale, donc le Grand Nancy décide qu'à ces endroits là il faut approvisionner en terre végétale

10. **Sur quels critères appréciez-vous les potentialités des matériaux terreux lors de leur réception ? Il y a-t-il une évaluation de ces matériaux ?**

Oui il y a une évaluation des matériaux. Par exemple, le paysagiste fait des échantillons de sol et est obligé de la donner au Grand Nancy. C'est donc le Grand Nancy qui décide si la terre végétale est bonne pour être réemployée ailleurs ou s'il faut l'amender avant son réemploi. Par exemple pour la Haie Cerlin, la 1ère tranche des travaux a nécessité un amendement de terre végétale. Elle venait de Metz. Mais je ne peux pas dire pourquoi on a dû en apporter

11. **Quels sont les critères pour apprécier la nécessité d'une excavation de terre ? De la destination de la terre ? Qui décide de sa destination ?**

Sur la Haie Cerlin, quand on construit une route avec des trottoirs comme vous avez vu hier, on n'a pas besoin de terre végétale. Donc on l'enlève. On la stocke. Elle sera ensuite réemployée pour des fosses de plantations d'arbres ou des espaces verts. On décape en prenant en compte le futur usage de l'endroit décapé

12. **De manière générale, lorsque des exports de matériaux sont nécessaires, trouvez-vous que ces matériaux terreux sont valorisés (*e.g.* terre végétale fertile à destination de jardins familiaux, déblais de terrassement à destination de remblais de chaussées) et respecter dans leur nature ?**

Je ne sais pas ce que deviennent les matériaux qui partent du chantier, donc je ne sais pas s'ils sont valorisés ou non

Entretien avec Aménageur et MOA déléguée – site MAMP – E (21.06.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Aménageur : l'expérience que j'en ai en tant qu'aménageur et dans le contexte dans lequel je travaille, puisqu'on est en site urbain très dense, pour moi le sol c'est compliqué. En général, sur la voirie, une densité de réseau, d'occupation du sous-sol très dense et très importante. Et pour ce qui est plutôt des terrains privés constructibles, le sol c'est… pareil… Pour moi ça ressemble plus à une contrainte en fait. Donc archéo… Effectivement, avec beaucoup de méconnaissances entre guillemets de ce qu'il se passe et de ce que ça englobe, en termes d'histoire… utilisation… et des surprises qu'on peut avoir dans ce qu'on peut y trouver, aussi bien en termes de pollution due à l'activité, que de sites historiques archéo, autres… Qu'aussi… Avec des composantes naturelles, sources, arrivées d'eau, voilà… Moi je le vois plutôt effectivement avec beaucoup d'inconnues. Jusqu'au dernier moment on a toujours des surprises, ça reste toujours dans les données de sites mal connues jusqu'au bout…

MOA déléguée : la caractérisation des sols elle se fait toujours par sondage, donc on est sûr d'avoir des surprises en fait, même de ce qui est fait un niveau du géotechnicien, de la pollution. On a toujours une appréhension par rapport à ce qu'on a imaginé, en tout cas techniquement.

2. **Aujourd'hui dans le monde de l'aménagement, vous trouvez que le rapport au sol est fort ? Faible ? Ou ça dépend des contextes, du site, etc. ? Ce sont des questions que vous vous posez souvent ?**

MOA déléguée : oui, oui je pense, surtout en zones urbaines où il n'y a pas beaucoup de terrains disponibles, donc les terrains qui restent sont en général des terrains dont personne d'autre ne voulait jusqu'à présent.

Aménageur : lié aussi à une méconnaissance. On retrouve finalement assez difficilement des traces historiques d'occupation, c'est très difficile d'avoir des informations sur l'histoire de chacun des terrains ; Et quand on est sur des sites occupés depuis de nombreuses années par diverses activités, il y a une mauvaise connaissance des terrains qui fait qu'on sait qu'on a toujours le risque et l'appréhension d'avoir de mauvaises surprises. Et je pense que ça c'est assez partagé avec tous les constructeurs et aménageurs sur des sites comme ça, un peu dense.

MOA déléguée : le sol c'est finalement une des principales sources d'aléas, même après la réalisation, en infrastructures et tout.

Aménageur : en termes de nature aussi, géotechnie, pollution, etc. Ca jusqu'à la fin ça représente une part des aléas…

3. Les projets d'aménagement réclament-ils une certaine pluridisciplinarité ?

MOA déléguée : même dans la phase préalable, d'études, de diagnostics, on a besoin de plusieurs diagnostics. Mais les contraintes sont plus fortes : l'eau, le sol, l'archéo… Effectivement ça appelle à chaque fois une compétence spécifique. Même le bruit, la qualité de l'air, etc.

Aménageur : même dans les aménagements des espaces publics… De plus en plus oui tout est fait de spécificités et de compétences. Moi je le vois par exemple sur le parc Bougainville qui est un aménagement d'espace public, on nous demande énormément d'études de reconnaissance au niveau hydro, pollution des sols, reconnaissance hydraulique sur la position, la constitution des nappes. On nous demande des prélèvements de gaz de sols. Il y a aussi des études bien évidemment géotechniques, sur la constitution des sols. Pour savoir ce qu'il y a dessous. Et sans parler effectivement de tout ce qui est reconnaissance et diagnostic au niveau des réseaux, de tout ce qui est sous le niveau du sol. Il faut en avoir une bonne connaissance. Donc on nous demande de plus en plus de travaux, diagnostics, reconnaissance, sondages, etc.

MOA déléguée : il y a aussi parfois des études géologiques, notamment à Marseille où la constitution des sols est… la nature géologique des sols…

4. Comment appréhendez-vous cette pluridisciplinarité ? Besoin de vulgarisation ? D'adaptation ?

MOA déléguée : non ce n'est pas simple du tout. On reste très généraliste.

Aménageur : non, et puis ça fait partie du travail de MOA en général. Nous on est censé s'appuyer sur des équipes de MOE qui eux sont censés piloter, coordonner, traduire aussi l'ensemble des éléments techniques. Donc c'est clair que c'est des langages qui restent très techniques et difficiles pour nous. Donc c'est des BET en termes d'aménagement… Mais c'est le boulot de MOE de faire ce travail d'analyse et de traduction et d'interprétation, et du cou de retranscription dans le projet, programme, etc.

MOA déléguée : effectivement, les préconisations. Et puis après on en tire des conséquences.

5. Est-ce que justement cela vous est déjà arrivé de travailler avec des agronomes ou des pédologues sur ces questions de considération, de qualité des sols sur site ? Est-ce que vous avez déjà eu à lire des analyses agronomiques ?

Aménageur : non. Agronome ? Non. Effectivement sur Bougainville, en tant qu'aménageur sur l'espace public, en général c'est sur l'aménagement de voirie… Et sur un aménagement d'un espace vert, qui aujourd'hui n'est pas vert du tout, on est d'accord ! Dans l'équipe de MOE on a demandé à avoir un écologue, avec une spécificité… et puis aussi lié au fait qu'il y ait un canal qui traverse… Pour restaurer ce cours d'eau, on a demandé à ce qu'il y ait un écologue. Mais agronome en site urbain là comme ça, non. Pourtant c'est un sujet spécifiquement espace vert là le parc. Mais non…

6. Pensez-vous que cette compétence soit utile, intéressante à intégrer dans la réalisation des projets urbains aujourd'hui ?

MOA déléguée : dans quel but ?

7. Pour connaitre l'ensemble des paramètres agronomiques des sols…

MOA déléguée : oui mais ce serait dans l'idée d'utiliser ces sols de faire fructifier ces sols quoi… Ce serait difficile oui, surtout que pour nous les espaces verts c'est vraiment réduit par rapport à la totalité de la construction. Et puis c'est des plantations…il n'y a pas besoin de fertilité particulière. C'est des plantes d'agrément plutôt. Donc là on a des paysagistes quoi.

Aménageur : et puis on a des BET pollution, spécialisés dans l'analyse de la nature des sols et qui font les plans de gestion, EQRS, etc. pour voir si la nature des sols en place est adaptée ou pas à la plantation d'arbres… Quelle nature d'arbres, etc. Donc ça nous on a ce type de compétences en général. Mais plutôt orientées pollution. Je ne sais pas… un agronome… A moins effectivement dans le cadre d'un aménagement d'espaces verts où l'on souhaite faire par exemple des zones potagères, où l'on souhaite planter, cultiver et récolter des choses, là peut-être que ça pourrait avoir un intérêt d'avoir quelqu'un d'un peu plus spécialisé sur la nature des sols et la compatibilité de ces sols avec un usage très particulier. Mais en général même quand on fait des plantations ce sont des plantations d'arbres… plutôt décoratifs.

8. Quand les terres sont excavées, y a-t-il un regard de leur qualité ? Est-ce que vous savez où elles partent ? Qui décident de où va cette terre ? Et comment la décision est prise ?

MOA déléguée : ce qu'on enlève… on a les bons de gestion de décharges quand c'est des terres polluées. Quand elles sont récupérées par l'entreprise, je ne sais pas où elles vont. Elles peuvent être réutilisées en remblai. A ce moment-là ils les traitent dans leur carrières ou déchetteries quoi.

Aménageur : oui c'est ça. C'est-à-dire que si elles sont classées, classe 1, classe 2, on vérifie que ça arrive au bon endroit. Ensuite classe 3, effectivement il n'y a pas de suivi avec une réglementation spécifique… Nous en aménagement d'espaces publics, on a un suivi de terres polluées quand elles sont orientées vers des classes spécifiques…

9. Et quand les terres sont amenées, est-ce qu'il y a une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ?

MOA déléguée : non. Peu en fait. Si c'est de la terre végétale, on vérifie les caractéristiques… Enfin en tout cas la MOE demande à l'entreprise de vérifier les caractéristiques. Après, pour l'arrivée et l'apport de terre, on a précisé dans le cahier des charges de prescription sur les aménagements des espaces verts des cœurs d'îlots. A l'échelle du quartier, et notamment sur le programme URM, on est sur un quartier qu'on a appelé le parc habité. L'idée c'est d'avoir des constructions avec des hauteurs assez différentes, contrastées, et des îlots ouverts et non pas périphériques comme les îlots haussmanniens avec les cœurs d'îlots renfermés. Donc des îlots ouverts sur la rue et largement plantés en cœur d'îlots qui débordent et qui dialoguent avec les plantations que l'on réalise sur l'espace public. De manière à ce que l'on ait une sensation de quartier vert, de parc habité, un maximum végétalisé. Donc chacun des programmes de construction à, au PLU, une obligation de pleine terre déjà de 20% sur la totalité de leur parcelle. Donc 20% de pleine terre plantée avec un certain nombre d'arbres de hautes tiges qui sont comptés, en fonction de la surface concernée. Et donc on a établi un cahier de prescription architecturale pour toutes les constructions, mais aussi un cahier de prescriptions urbaines et paysagères qui précisent un peu la manière dont ces plantations doivent être réalisées en cœur d'ilot dans les programmes privés pour accompagner celles des équipements publics. Donc on définit les essences d'arbre, etc. Il me semble aussi qu'on définit effectivement la constitution de la terre qui doit être ramenée. Mélange terre-pierres, je ne sais pas quoi… Enfin je ne suis pas trop… Donc nous on a un cahier de prescriptions, après on a un paysagiste conseil qui suit les propositions qui suit les propositions qui sont faites par chaque paysagiste de chaque construction en phase étude, et après en phase exécution et réalisation, nous on ne fait que constater à la fin si c'est bien les bonnes plantations qui ont été mises en place. Mais on ne fait pas de prélèvement de terre ou quoi, si effectivement ça correspond bien au mélange terre-pierres… Donc on fait confiance, on ne fait pas de contrôle. Pour nous effectivement le cahier de prescription de l'aménageur on le transcrit, enfin on le joint au cahier des charges de consultation des entreprises. C'est ensuite à la charge de la MOE de vérifier que les entreprises respectent…

Aménageur : là encore une fois c'est le MOE qui est un peu garant.

MOA déléguée : on peut vérifier un peu, mais on travaille relativement en confiance, avec des entreprises spécialisées qui s'y connaissent.

10. **Je développe un outil qui vous aiderait, vous acteurs de l'aménagement, à appréhender peut être plus facilement cette question de prise en compte de la qualité agronomique des sols en amont des réflexions sur un projet d'aménagement. Est-ce que vous pensez que rajouter un outil, avec toute la réglementation qui existe déjà, ça ne contraint pas… enfin ça n'encourage pas l'acteur à l'utiliser ? Est-ce que vous pensez donc que cet outil soit utile ? Doit-il être tout nouveau ? Ou intégré à des outils déjà existants ? Est-ce que ça vous plairait d'ajouter des paramètres agronomiques aux analyses de sol qui sont déjà faites (*e.g.* pollution, géotechnie) ?**

MOA déléguée : dans le cas où on veut utiliser la ressource sur place ? Donc dans le cas où l'on voudrait planter quelque chose que l'on récolterait ? Il y a une difficulté dans ce dont on parle, parce que par exemple la parcelle où vous avez échantillonnée, il n'y a même pas de terre végétale. On ne se serait même pas posé la question, ce n'est que du remblai du port autonome. Il n'y a même pas de terre, ça ne pousse même pas tout seul. Après quand on est moins urbain, peut-être. Là aussi, les terrains sont souvent rares, ou exigus donc on a du mal à optimiser la parcelle d'un point de vue bâtiment, donc on aurait du mal à rajouter des terrains plantés.

Aménageur : effectivement, je ne sais pas si c'est très réaliste en site urbain dense. Car vous dites faire des économies d'échelle, de mouvement de terre, etc. Dans un grand projet d'aménagement où il y aurait effectivement une part d'aménagement et de construction et une part aussi importante d'aménagement d'espaces verts à positionner sur un grand plan d'ensemble, je pense que oui. C'est une donnée à prendre en compte et qui peut être une plus-value. Mais à l'échelle des sites urbains qu'on gère en… un site urbain très contraint, très dense, déjà très occupé au niveau des sous-sols, dans une zone qui est en fait une zone artificielle complètement remblayée…La plus-value de faire des études agronomiques pour savoir où sont les zones de terre de bonne qualité où il serait intéressant de venir planter des végétaux… A cette échelle là… en termes d'économie de projet, je pense que le nombre de niveaux de sous-sol…nous c'est la grosse difficulté sur le quartier, c'est que le poste le plus important en termes budgétaires pour la construction, c'est le nombre de sous-sol à minimiser au maximum parce que l'on est sur des terrains en remblais, très instables, proches de l'eau donc plein d'eau, plein de sel, avec une histoire de fraction soluble très importante, des terres très polluées, instables, pleines d'eau… Donc la question aujourd'hui de la ressource en terre naturelle valorisable et à utiliser et à préserver, elle ne se pose pas en ces termes-là. Nous on veut savoir où est-ce qu'on peut positionner des constructions, sur des sites pas trop pollués, pas trop instables, pas trop gorgés d'eau. Et une fois qu'on a positionné les bâtiments ben on voit ce qu'il reste… Sachant que l'on donne déjà la contrainte à l'ensemble des constructeurs de réserver 20% de leur parcelle en pleine terre. Mais à l'échelle des programmes…

11. **Quels seraient pour vous les principaux services rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Aménageur : sur un terrain nu ?

MOA déléguée : c'est d'abord support de bâtiments. Après on s'intéresse à la frange, à l'espace entre les bâtiments et l'espace public, les pieds de façade, etc. Mais là comme c'était orienté sur cœurs d'îlots verts…

Aménageur : encore une fois, vu le contexte, la première chose qu'on attend et qu'on expertise, c'est la capacité du terrain à être construit, et à supporter des constructions, des niveaux de parkings.

MOA déléguée : surtout que là le terrain n'est pas très engageant, c'est un terrain vague. Il est bien situé mais on ne pense pas que c'est de la terre. C'est plus une plate-forme.

Aménageur : oui c'est vrai que dans ce contexte-là, je ne vois jamais un potentiel d'aménagement d'espaces verts, de plantations, de végétalisation, ça ne vient pas comme ça spontanément. Par contre, en termes de déperméabilisation, c'est quelque chose sur lequel on est très attentif, sur les espaces non bâtis. Les fameux 20% de pleine terre demandées aux constructeurs et qu'on demande d'être plantées, on leur demande aussi de rendre les surfaces le moins imperméables possible. De manière à absorber le maximum de… On est assez exigeants, vigilants, sur la manière dont les cœurs d'îlots sont traités, de

manière à ce que ça ne soit pas complètement imperméabilisé comme ça l'est aujourd'hui. Donc plutôt augmenter la capacité du sol à absorber l'eau dans les cœurs d'îlots.

12. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Aménageur :
Régulation de la qualité de l'air : 5
Régulation du climat : 5
Régulation des aléas naturels : 3
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 2
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 2
Ressource ornementale : 5
Energie : 2
Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

MOA déléguée :
Régulation de la qualité de l'air : 5
Régulation du climat : 3
Régulation des aléas naturels : 5
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 2
Habitat pour la biodiversité : 3
Biomasse : 1
Ressource ornementale : 5
Energie : 2
Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

Entretien avec ANRU et MOA – site MAMP – PA (22.06.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

MOA : Direction Parc et Jardins, le sol c'est la base, le support, et c'est l'élément incontournable dont on doit tenir compte au niveau des études et de la conception du futur projet qui sera aménagé, tout simplement. Parce qu'il y a un lien étroit entre le végétal et le sol. Moi je suis dans le sol substrat/profondeur, et Laure plutôt dans le sens superficie, emprise, projet, zone.

ANRU : Je l'entends dans le sens de territoire. Le territoire sur lequel on n'intervient, pas tant qui se rapport au paysage, c'est un territoire de projet, au sens de développement du territoire. Oui, j'ai une définition moins technique, mais qui est tout aussi intéressante.

2. **Aujourd'hui dans le monde de l'aménagement, vous trouvez que le rapport au sol est fort ? Faible ? Ou ça dépend des contextes, du site, etc. ? Ce sont des questions que vous vous posez souvent ?**

MOA : Alors là… Nous on essaie en tant que maitre d'ouvrage dans une opération, au service espaces verts, de sensibiliser et donc d'intégrer toutes les notions qui sont liées au sol, et notamment à nos entreprises, à nos maitres d'œuvre qui travaillent sur les projets. Nous on essaie de faire systématiquement dans nos grands projets des analyses de sol, pour en tenir compte et pour rappeler ces points-là. Oui… Après sur les points sol tel un territoire il y a des aspects juridiques, fonciers, on les intègre aussi c'est incontournable. Oui, c'est incontournable, donc tout le monde y est sensibilisé et à sa part de travail à fournir sur ce point-là…

ANRU : Alors nous c'est quelque chose qu'on intègre pleinement dans notre travail. Nous chez GIP MRU on est MOA de projets urbains, on n'est pas MOA d'opérations. Mais au moment où vous posez cette question, je repensais parfois à des discussions que je peux avoir et avec une expression que j'utilise parfois, de dire que l'on ne peut pas être hors sol. Et il y a parfois je trouve… parmi nos interlocuteurs institutionnels, des discussions et même de la négociation car ils ont parfois une idée qui est parfois hors-sol, et qui ne s'intègre pas au territoire, avec peut être parfois de très belles idées très théoriques mais qui vont avoir à se positionner sur le sol, un peu déconnectées de certaines réalités.

3. **Les projets d'aménagement réclament-ils une certaine pluridisciplinarité ? Comment la pratiquez-vous ?**

MOA : déjà je pense qu'en termes de compétences différentes on a, sur certain nombre de projets, en l'occurrence sur Plan d'Aou, on a plein de compétences, de structures comme MRU qui eux font déjà un travail très transversales entre les différentes MOA et qui créent beaucoup d'échanges pour prendre en compte… connaitre les problématiques des autres acteurs qui interviennent sur le territoire. Donc on a déjà une vision plus globale au niveau du projet et de l'aménagement. Après, pour recentrer sur notre compétence espaces verts proprement dite, on a toujours à faire à des groupements pluridisciplinaires. On ne fait jamais appel à un MOE paysagiste, mais on à des groupements formés de paysagistes, de cabinet d'ingénierie, d'hydrauliciens si besoin est. En amont on intègre ces thématiques là et on évalue toutes les compétences que l'on doit réunir pour arriver à un projet qualitatif à la fin. Après, on a un regard transversal quand même. C'est ce qui fait la richesse des projets aussi.

ANRU : Je n'ai rien de particulier à ajouter sur cette question.

4. **Toute à l'heure vous m'avez parlé d'analyses de sol. Est-ce que justement cela vous est déjà arrivé de travailler avec des agronomes ou des pédologues sur ces questions de considération, de qualité des sols sur site ? Est-ce que vous avez déjà eu à lire des analyses agronomiques ?**

MOA : Oui… Je fais faire des analyses avec tout ce qui est données liées à la structure du sol, la granulométrie, la composition argile, limon, sable, le rapport C/N, toutes ces données qui sont ensuite par la suite intégrées au niveau des travaux à mettre en œuvre, par la suite. Au niveau de la ville on a des marchés existants avec des cabinets spécialisés et o les sollicite quand le besoin se présente. On leur fait faire des relevés, des carottages. Ensuite on les transfère à notre MOE. Et la MOE arrive à les interprétés. C'est leur métier. Il n'y a pas de soucis à ce niveau-là.

ANRU : Nous on ne fait pas du tout de diagnostic de sol, d'aucune sorte. Pour le coup, on est éloigné de cette technicité-là. Alors parfois c'est compliqué. Car quand on a un diagnostic qui revient, la question de notre capacité à comprendre, à l'interprété se pose. Il faut que quelqu'un nous explique. Sauf pour ceux d'entre nous qui ont un cursus très technique, ça n'est pas mon cas, je suis issue des sciences sociales. Donc il faut que quelqu'un me fasse une traduction : ce que ça veut dire, ce que ça signifie, et quels impacts pour le projet, les recommandations.

MOA : Nous on a un service technique, donc on sait déjà l'interpréter. Et après on sait aussi en discuter avec nos MOE. Là actuellement je travaille sur le parc de la Jarre. On est sur un sol relativement pauvre, avec une épaisseur de sol de 35 cm. Et ça impacte littéralement les travaux par la suite ; Car on crée un nouveau parc avec des plantations de grands sujets. On a besoin de faire des travaux de terrassement considérables. Avec la réalisation de fosses de plantation en adéquation avec le développement futur des végétaux. Donc oui, c'est des choses qui sont importantes et si on n'en tient pas compte on se retrouve vite bloqués et on peut faire des choix erronés et rencontrer des grandes difficultés pour la mise en œuvre des travaux. Quand on crée des parcs, on travaille en lien étroit avec le sol, c'est notre garde-manger, notre support, notre base. Et si on ne commence pas par la prise en compte de ce facteur-là on peut avoir des drôles de surprises, surtout dans cette région là où on est très vite sur la roche mère, on la roche mère à fleur. On peut très vite avoir des drôles de surprise.

5. **Concernant la problématique de gestion des sols sur site, est-ce que c'est une pratique que vous essayez de mettre en place sur tous les sites où vous intervenez, de privilégier les sols en place et de les réutiliser ? Notamment quand arrive la définition des lignes budgétaires pour la phase chantier, savoir combien de m³ de terre on peut faire sortir du site, comment on va réutiliser l'autre quantité sur place, etc. ? Est-ce que l'on ne peut pas déjà faire avec**

ce qui existe déjà ? Est-ce qu'il y a une limite de quantité de terre que l'on excave du site et envoie en décharge ?

MOA : Dans la théorie oui. Dans la pratique…

ANRU : … on fait comme on peut !

MOA : C'est difficile. Pour en revenir sur le parc de la Jarre, on a essayé d'anticiper… Il y a des travaux qui ont eu lieu dans une parcelle voisine, de la Ville également. Ils ont enlevé toute la terre végétale en surface, ils ont fait des travaux de terrassement. On leur a demandé de nous stocker cette terre végétale qu'ils ont mise en place sur notre parcelle voisine. Et dans le cadre de l'aménagement de notre futur parc on pourra réemployer, on va cribler cette terre, l'amender. On essaie quand même de prendre en compte ces facteurs-là. Après, on mélange quand même les couches, on ne fait pas un travail minutieux. Sur l'aménagement du jardin public de Sornioux, la direction de l'architecture des bâtiments à aménager la maison de quartier et pour l'aménager ils ont fait des gros travaux de terrassements. Et nous pour l'aménagement du jardin mitoyen on s'est servi de la terre des terrassements. Mais on mélange quand même. Mais on essaie quand même de travailler avec les ressources sur place.

6. **Quand les terres sont excavées, il y a-t-il un regard de leur qualité ? Est-ce que vous savez où elles partent ? Qui décide de où va cette terre ? Et comment la décision est prise ?**

MOA : Non, sauf si vraiment il y a des risques de pollution. Par exemple sur le Plan d'Aou il y a l'analyse qui a été lancée par notre mandataire. Pour savoir déjà les pollutions qu'il y a et comment traiter, évacuer, et que faire… Après quand on est sur des terres qu'on imagine, parce qu'on n'a pas la certitude, qu'elles sont saines, non on ne fait pas des analyses. C'est vrai que l'on pourrait en faire plus souvent, mais ça demande du temps, du budget…

ANRU : sur la question d'excavation, on est plutôt dans une approche très générale de dire que moins il y a de terres excavées mieux c'est. Donc je sais que sur la parcelle de l'école on a beaucoup accompagné le MOA pour pouvoir faire passer le fait que l'on n'allait pas faire un parking enterré. Donc on le fait en silo donc on n'excave pas. Pour des raisons de coûts, mais aussi pour des raisons après de fragilité des sols. Donc moins on creuse mieux c'est. Donc ce n'était pas gagné d'obtenir l'aval pour faire le parking en silo.

7. **Et quand les terres sont amenées, est-ce qu'il y a une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ?**

MOA : On définit la qualité de ce que l'on appelle la qualité d'une terre végétale dans nos marchés, après, on ne se donne pas forcément les moyens de vérifier si les entreprises nous livrent bien ce qu'elles ont promis. On pourrait leur demander, c'est vrai c'est une bonne remarque !

ANRU : Sur l'apport des terres, j'avoue que l'on est intéressé à ce que les terres qui sont amenées soient des terres de bonne qualité, mais on ne s'est jamais donné aucun moyen pour vérifier, on n'est jamais allé poser la question de est-ce qu'on devrait procéder à des vérifications.

MOA : nous on a un regard, mais on ne fait pas les analyses. Mais après on regarde, on fait des amendements quand c'est nécessaire. On a quand même une première approche au niveau de la texture… On voit certains éléments mais c'est vrai qu'on ne vérifie pas plus. Après on a quand même des risques de graines d'espèces invasives, etc. Dans le jardin japonais aménagé à Borély il y avait du carex qui prospère de manière abondante, dont on se débarrasse difficilement. C'est vrai qu'une petite analyse ne ferait pas de mal !

8. **Est-ce que ça vous paraitrait utile d'ajouter des paramètres agronomiques aux analyses de sol qui sont déjà faites (*e.g.* pollution, géotechnie) ? Est-ce que rendre ça réglementaire aurait un intérêt ?**

MOA : La réglementation elle devient malheureusement très vite… on a tellement de réglementations qui s'empilent les unes sur les autres que l'on se dit qu'une réglementation est un gage de qualité, mais quand elle devient obligatoire, ça peut très vite devenir une contrainte dans le travail et dans le fonctionnement. Peut-être mettre en place nous des outils pour contrôler la qualité, sans obligatoirement passer par une réglementation. Même si malheureusement je me dis qu'on est obligé d'y passer pour que les gens appliquent et mettent en œuvre la démarche.

9. **Quand vous parlez d'outils à mettre en place, ne trouvez-vous pas qu'il y a aussi beaucoup d'outils qui existent aujourd'hui ? Que ça prend du temps, du budget ? Ou ne trouvez-vous**

pas que justement ce serait utile d'intégrer ces analyses à des analyses de pollution déjà existantes ? D'élargir le nombre de paramètres des analyses et d'y intégrer des paramètres agronomiques ? Et donc de finalement avoir un outil qui s'intègre à des outils déjà existants, dont vous vous servez aujourd'hui ?

MOA : Personnellement, c'est ce que l'on fait. Sur l'analyse qui a été lancée sur l'aménagement du parc, on a fait une analyse de pollution et après l'analyse de sol à proprement dite. Donc je pense que c'est aux services techniques de faire cette démarche.

ANRU : Pour moi, vu d'un peu loin, autant un diagnostic de pollution me semble essentielle car il y a une question de dangerosité, liée à la notion de risque. L'analyse agronomique, la rendre systématique… pourquoi pas mais pour quoi faire ? Si on doit réaliser l'espace public, sûrement que c'est intéressant. Peut-être que par cotre si on réalise du bâti là je ne sais pas. Il y a la question des paramètres selon ce que le site va accueillir.

MOA : après la pollution est un élément incontournable. Après je pense que c'est à intégrer dans… Si on ne fait que du pilotage d'opération et que l'on passe par une MOE privée, je pense que oui il faut intégrer de façon systématique au marché études un petit volet étude de sol, pour ce qui est de la création espaces verts publics. Après, chacun à sa spécificité à développer quand on aménage un territoire. Donc à intégrer au marché étude, ou veiller à ce que le MOA en question le gère directement.

10. **Après pour revenir à la question du pour quoi faire, j'ai cette réflexion dans ma thèse où je me dis qu'aujourd'hui, dans le contexte tendu de la disponibilité de la ressource sol, il serait peut-être intéressant de connaitre le sol pour se rendre compte que là où on veut construire un bâtiment le sol est super riche, alors qu'à côté il est vraiment plus pauvre, donc pourquoi ne pas faire le bâtiment à côté ? Voilà, ce serait pour intégrer le paramètre sol dans les processus de décision par exemple.**

ANRU : Ça c'est une sacrée question, qui voudrait dire que la forme urbaine pourrait être conditionnée par les sols.

11. **Peut-être pas conditionnée, mais que les sols soient y soient intégrés. Au même titre que le facteur transport, mixité, etc.**

MOA : Ce n'est pas un faux problème ! Parce qu'il faut savoir que la terre végétale il y en a de moins en moins. Les entreprises nous ramènent des terres… il y a des matériaux qui se font de plus en plus rares. Tel le sable… et la terre végétale en fait partie. J'en ai entendu parler plusieurs fois, et je le vois, nos entreprises dès qu'elles peuvent récupérer de la terre végétale elles le font et elles l'amendent. Ca a un cout et il y a une réelle économie derrière. Et je pense que c'est des choses qui sont importantes à étudier et à développer derrière.

ANRU : Bah je ne trouve pas ça inintéressant, que ce soit une donnée de base, mais alors très, très, très en amont d'un projet urbain.

MOA : Oui pour dire soit on doit aménager ce territoire, on fait des analyses en amont, et voyons les orientations…

ANRU : Oui voilà, voyons quelles formes urbaines on peut proposer qui seraient la plus respectueuse de…
MOA : Oui parce que c'est vrai que des fois c'est un peu regrettable car on voit des terres qui pourraient être des bonnes terres agricoles intéressantes, qui sont complètement supprimées pour voir des lotissements s'installer. Et à côté on installe un parc sur trois cailloux… Mais c'est une réflexion que l'on doit avoir en amont, et qui peut être très intéressante.
ANRU : intéressante à condition que ça ne revête pas un caractère ultra prescriptif : une démarche vertueuse mais… que ça ne vienne pas contraindre absolument le projet.

12. **Quels seraient pour vous les principaux services rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

MOA : Quels services que l'on attend d'un sol ? Qu'il soit en mesure d'accueillir des espaces de vie… Des… Qui… Qu'il a pour vocation de tisser un lien et une espèce de trame de liaison entre le tissu urbain, le bâti et euh… Après, au niveau du plan d'Aou, ce que je rêve un peu plus, c'est que j'aimerai que ce sol puisse accueillir d'avantage de végétation, qu'il y est un espace commun extérieur, qui incite l'usager de s'y

rendre, d'y rester, d'avoir e l'ombrage, de la fraicheur, de ne plus être sur un plateau plumé, occupé par trop de véhicules et où le soleil cogne. Quand on regarde la végétation on s'imagine ce qu'il se passe en dessous et là on peut s'imaginer que ce n'est pas très riche ce qu'il se passe en dessous.
ANRU : Moi le sol de Plan d'Aou je le trouve un peu lunaire quand même ! Moi c'est à peu près la même chose finalement. On… Je pense que la manière dont on aborde un projet c'est pour lui faire une seconde peau tout en conservant le sol initial, en lui donnant une seconde peau. Notamment avec une vraie ambition d'espace public, qui fasse vie, pour se reconnecter.

13. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

MOA :
Régulation de la qualité de l'air : 4
Régulation du climat : 4
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 2
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 4
Ressource ornementale : 5
Energie : 1
Support d'infrastructures et bâtiments : 5
Support d'activités humaines : 5

ANRU :
Régulation de la qualité de l'air : 4
Régulation du climat : 4
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 2
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 5
Ressource ornementale : 5
Energie : 3
Support d'infrastructures et bâtiments : 5
Support d'activités humaines : 5

Entretien avec MOE – site MAMP – PA (21.06.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Le sol c'est ce qui va supporter les structures végétales soit qui sont en place soit qu'on va mettre en place. Donc en général on est obligé de tenir compte de la nature des sols si on a à planter. Et si on est dans de l'entretien ou dans de l'amélioration d'une structure végétale en place on a essayé d'en tenir compte aussi. Alors pour citer des exemples, il y a des fois où on a même recyclé des sols de parking. Donc là on a créé un sol, enfin on a plutôt amendé un sol de sous-face bétonné, donc on a un sol imperméable pour qu'il soit bon à la plantation. Donc là on a des exemples sur Dunkerque, où on a démonté une dalle portuaire et on a fait zéro export des matériaux démontés, pour ensuite partir plutôt sur un amendement, donc terre végétale et compost, mais léger, qui correspondait à 15% du cubage de terre existant sur lequel c'était vraiment juste un amendement pour aider à la plantation, parce qu'on était sur une grave en dessous. Après on est parti sur cette base là avec une végétation de sol pauvre, pionnière. Donc oui on tient évidemment compte… Donc là c'est un peu le cas extrême, on part de zéro, on amende un sol existant et on adapte une palette végétale. Un sol qu'on a amélioré on va dire. Sinon, sur le Plan d'Aou ce qu'on aurait voulu faire, mais avec les budgets et les délais on y arrive pas toujours, c'était aussi d'être dans cette

logique d'amendement, même d'utiliser des plantes qui permettent de dépolluer. Nous dans l'idée, on aurait aimé sur l'esplanade que t'as sondée, de faire faire des sondages sur lesquels tu as participé mais qui n'étaient pas dans les délais de nos travaux, pour partir sur quelque chose qui serait à l'exemple des parkings plutôt un décompactage du sol, un amendement et une plantation. Comme on avait une MOA assez pressée là-dessus et des budgets assez réduits, finalement ce qu'on a fait c'est qu'on a évacué le sol… enfin déblayé le sol qui nous paraissait suspect à la pollution, à l'hydrocarbure, pour en faire des zones de remblais sur le site qui sont semées, avec des semis de types prairie sèches et sols pauvres qui ne nécessitent pas d'arrosage. Donc le remblai est compacté sur une zone du site, et puis ensuite le déblai qu'on a créé, en fait on a reconstruit le sol sur 30 cm. Parce qu'il y avait vraiment cette incertitude, et là aussi sur des délais assez courts et on se dit que les entreprises qui allaient travailler dessus n'étaient pas assez forcément formées ou sensibilisées donc on a aussi fait le choix de la sécurité. Bon après, on peut aussi considérer que… nous ce qu'on a dit c'est qu'on décompacte sur 30 cm pour aider au développement premier des végétaux, donc à la plantation, ensuite on décompacte le sol qui reste sous les 30 cm. Et ensuite on est sur des strates essentiellement arbustives et ligneuses et bien on vise à ce que le développement des végétaux se fasse sur le sous-sol décompacter. Donc voilà, après nous on essaie de ne pas trop toucher au sol. C'est un peu un guide de la végétation qui apparait aussi au-dessus, qu'on vient jardiner, gérer. Mais on essaie de ne pas perturber les lignes d'eau, de ne pas faire des mouvements de terre trop importants, pour garder une structure sol existante. On travaille beaucoup sur l'économie des moyens au sens large. Le sol en fait partie. Si on peut minimiser les mouvements de terre et plutôt se dire que le sol est un peu un guide de ce qui se passe en surface et ben on le fait.

2. **Aujourd'hui dans le monde de l'aménagement, vous trouvez que le rapport au sol est fort ? Faible ? Ou ça dépend des contextes, du site, etc. ? Ce sont des questions que vous vous posez souvent ?**

Pour moi oui. Pour reprendre l'exemple du Plan d'Aou, on a senti une MOA plutôt sensible à ces questions. Alors la sensibilité elle va aussi vers l'enveloppe budgétaire. Donc pour eux dès qu'on peut dire qu'on va travailler avec l'existant, qu'on va minimiser les exports, et que si on a un déblai on essaie de le gérer sur le site, et bien ça leur plait. Sur le fondement même du projet. Après c'est sûr que c'est très lié au budget qui est souvent assez réduit. Après sur la parcelle d'Erilia, donc qui est un bailleur social, on arrive finalement à une solution d'entre deux de gestion de déblai remblai sur le même site. Après sur la parcelle SOLEAM, avec Monsieur Deschamps, on voit que les points qu'on a pointé du doigt il l'intègre et il sort un diagnostic et un rapport sol qu'on est censé intégrer dès la phase d'avant-projet pour nous aiguiller.

3. **Mais ces diagnostics de sol aujourd'hui sont principalement orientés vers les paramètres de pollution et de géotechnie ?**

Oui c'est vraiment les questions de pollution. La géotechnie sur Plan d'Aou moins parce qu'on n'a pas de bâtiments, on a des petits points d'équipement de sport mais ce n'est pas du lourd, donc entre guillemet on sait que ça tient. Donc c'est plus pouvoir estimer les masses que l'on pourra intégrer dans le projet et celles qui vont présenter un surcout au niveau de l'aménagement, parce que exportation si amiante, sur tout ce qui est hydrocarbure u vrai point d'interrogation.

4. **Quand les terres sont excavées, il y a-t-il un regard de leur qualité ? Est-ce que vous savez où elles partent ? Qui décide de où va cette terre ? Et comment la décision est prise ?**

Ca je t'avoue que je n'ai pas vraiment de connaissances là-dessus. Je n'ai pas trop d'expérience là-dedans et puis non on n'en a pas.

5. **Et quand les terres sont amenées, est-ce qu'il y a une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ?**

Dans nos DCE (dossiers de consultation d'entreprise), dans ces phases là et dans les CCTP on indique toujours des paramètres de la terre amenée et d'une terre qu'on souhaite aussi venir d'un lieu proche pour là aussi essayer d'être économes en termes de ressources et moyens et puis aussi pour notre philosophie écologie du projet.

6. **Est-ce que c'est déjà arrivé que la MOA vous impose une quantité de terre minimale à exporter ? Enfin une masse de terre exportée à ne pas dépasser ?**

Non, ça ne s'est jamais posé dans ces termes-là. Après là où on a un peu des obligations, on a quelques expériences à Paris, c'est d'avoir un minimum de sols perméables. Après sur les quantités exportées/importées moins. Mais sur la nécessité de restituer un pourcentage de sols perméables ça oui.

On a des contraintes là-dessus qui sont assez importantes là-dessus. Après pour parler d'une autre expérience, on a fait le concours du parc Bougainville, et là nous aussi c'est rester théorique, mais dans l'idée, alors que l'on sait que c'est un site pollué, on a vraiment fait le choix, on a travaillé avec Ramboll Environ comme BET technique. On visait un zéro export de matériaux. Alors on avait très peu d'informations. Il y avait eu un diagnostic très léger niveau sol. Donc on avait mis plein de réserve lors de la phase concours. On voulait que le projet intègre tous les types de sols qui se trouvent sur le site, dans l'état dans lequel ils sont. Donc il y avait des zones qu'on estimait être extrêmement polluées, parce que c'est quand même un sol industriel, portuaire depuis de nombreuses années, depuis les aménagements de la Joliette. Donc il y avait des parties que l'on imaginait en bosquet de dépollution, en circulation en passerelle, au-dessus des zones à dépolluer, où on était aussi sur une logique où les terres très polluées nous servaient pour les remblais, nos circulations endiguées qui ne touchaient pas… enfin c'était une sorte de mise en sarcophage. C'était assez théorique, mais on avait quand même fait des estimations là-dessus. Ensuite sur les sols les moins pollués, on avait pensé à faire de la phytoremédiation, dans des bacs inaccessibles aux personnes, qu'on mettait en scène. Il y avait aussi une volonté pédagogique de créer un parc par la ville et par l'histoire du site en racontant cette histoire des sols. Donc c'est resté théorique, on a fini deuxième sur le concours donc ça ne se fera pas comme ça mais je pense que ces points-là on était très appréciés par la MOA, par Euromed.

7. **Et finalement est-ce que faire tout ça ne coûte peut-être pas plus cher que d'excaver le sol et de rapport du « bon » sol ? Est-ce que vous avez réussi à avoir des chiffres là-dessus ?**

On avait une enveloppe travaux globale mais on n'avait pas de chiffrage là-dessus. Mais on l'a expérimenté sur un projet qui n'a jamais vu le jour à la Défense, sur une partie sur la couverture de l'A86, mais il y a longtemps, ça fait 10 ans, finalement c'était plus couteux que d'exporter. Mais nous l'argument que l'on essayait de défendre par rapport aux MOA c'était de dire vous faite une machine de tri de terre, on avait un BET là-dessus, qui permettait de traiter la terre de notre site mais aussi des sites de travaux environnants pendant une phase la plus longue possible. Donc si tu veux, el cout on avait réussi à la faire accepter et l'équilibrer avec cet aspect-là. Et puis il y a le cout travaux sur l'instant T mais il y a aussi le cout écologique sur le long terme. Enfin voilà il y a souvent ce coût-là qui est moins visible mais qu'on essaie d'apporter. Et puis quel sens ça a aujourd'hui d'exporter alors qu'il y a des sols dans des lieux… Bon voilà ce n'est que reporter le problème ailleurs et un peu plus tard. Donc nous on essaie vraiment de… de raisonner en énergie grise. Qu'il n'y a pas que l'enveloppe financière, mais aussi l'enveloppe écologique et de matériaux et de ressource à prendre en compte dans un projet global.

8. **Et cette notion de long terme, les MOA, les élus arrivent à s'en saisir ?**

Bah vu qu'on a déjà du mal nous à faire passer des messages très court pour vous… Enfin nous nos travaux de MOE s'arrêtent deux ans… Donc là, dans nos démarches et nos idées et nos missions, on essaie de mettre la question de la gestion et de l'entretien au centre des préoccupations, et même de négocier des missions en ce sens. Mais on est sur des échelles de temps qui sont plus de l'ordre des 5 ou 10 ans. Quand on parle de sol on parle d'autres échelles de temps. Et là il n'y a pas… enfin il y a une conscience très relative des MOA sur ces sujet-là, enfin sur le paysage. Peut-être que sur d'autres missions plus spécifiques à la dépollution des sols oui, mais enfin, on amène vraiment la question du sol sur des projets d'aménagement, moins sur des sites à dépolluer de manière lourde, ce serait plus traité par des BET spécialisés.

9. **Les projets d'aménagement réclament-ils une pluridisciplinarité ? Comment y êtes-vous confronté ? Il y a-t-il besoin d'adaptation ? De vulgarisation ?**

Oui on en est bien conscients, mais c'est aussi ce qu'on aime. On a un petit réseau qu'on met dans des groupemetns, car on se situe… notre choix a été de ne pas créer une entreprise qui répond… enfin qui s'ultra-spécialise, mais de conserver cette idée de groupement pluridisciplinaire, parce que la commande aujourd'hui c'est aussi ça. Il y a un moment où tu vas répondre sur un parc où l'on va demander, comme sur Bougainville, la compétence sol, dépollution, la compétence socio pour concertation/usage, les VRD. Donc être pluridisciplinaires et être dans des groupemetns qui peuvent varier de commandes en commandes c'est aussi la garantie de continuer à être de bons généralistes. Finalement, le paysagiste a tout a gagné à être un bon généraliste et s'associer au botaniste quand ses compétences dans la manière sont un peu limité, et puis toute la gamme de BET qui sont spécialisés. Et ce qu'on aime aussi nous, et c'est

un peu la partie terrain, c'est d'associer les parties techniques dès la conception de nos projets. Encore une fois sur Bougainville c'est ce qu'on a réussi à mettre en œuvre et qui a plu je pense aussi aux BET : dès les visites de terrain, dès les premières intentions de projet, ils étaient là avec nous et nous ont permis de mettre en avant des points de vigilance, qu'ensuite on a intégré au projet et qui ont permis de donner ce projet-là : zéro export et on travaille avec la matière que l'on a sur place. Ca oriente aussi nos réflexions. Et c'est ce qu'on aime dans le côté pluridisciplinaire. C'est un enrichissement. Et puis on dit toujours qu'il n'y a jamais de recette, et que chaque site à sa problématique et spécificité et amène donc un lot d'expertises qu'il nécessite pour bien conduire un projet. C'est ça qui nous anime aussi : d'être bon généraliste et d'avoir les bons experts qui conduisent le projet. Le réseau est important dans ce sens-là aussi. Des compétences aussi qu'on essaie d'avoir local, sur le pluridisciplinaire, c'est quelque chose qui nous tient à cœur car les questions sont souvent focalisées et locales, sur les sites sur lesquels on travaille.

10. **Quelles sont les premières compétences qui sont attendues aujourd'hui dans les appels d'offre ? Est-ce qu'il y a une tendance qui se généralise, ou est-ce que ça dépend ?**

Sur l'aspect technique ça dépend. Après dans des champs classiques de ce qu'on a en termes de gestion, ce qu'il ressort tout le temps c'est concertation/communication et botanique. Après BET VRD c'est indispensable à chaque coup. Après ce que je vois quand même maintenant c'est la compétence sol qui me parait quand même assez récurrente. Finalement les sites sur lesquels on intervient c'est souvent des friches, des terrains qui ne sont pas des parcs à l'origine et qui sont plutôt des espaces que l'on transforme. Donc le sol arriver assez vite. Mais le sol côté pollution.

11. **Il y a-t-il des appels d'offre où la compétence en agronomie ou pédologie est attendue ?**

Non, pas vraiment, après… Là maintenant, il y a la mode production alimentaire, agriculture urbaine. Donc c'est vrai que l'on voit souvent des demandes pour avoir une expertise là-dessus. Donc ce n'est pas complétement agro. Souvent c'est aussi finalement des demandes de MOA de s'associer à des associations d'aide à ce type de développement. Mais bon je trouve que c'est un peu aberrant, je trouve qu'on en tartine un peu trop partout. Je ne sais pas ce que ça va donner. Mais il y a une demande surévaluée par rapport à ce qui pourrait être entretenue. Je trouve qu'il y a un peu une tendance que ça dévie un peu.

12. **Le but de ma thèse est de mettre au point un OAD à l'attention des acteurs de l'aménagement pour réussir à optimiser le sol dans les projets d'aménagement et donc pouvoir le connaitre en amont des réflexions, liée aux caractéristiques agronomiques. Pensez-vous qu'il y a aujourd'hui trop de contraintes à prendre en compte et que cet outil ne soit pas utilisé ?**

Bah pour moi oui il ne faudrait pas se priver de se complément là. Je pense que là aussi ça vaudrait le coup de pouvoir négocier plus pour que les MOE puissent pouvoir se saisir un peu de ça. Il faut le créer cet outil. On en aurait une réelle utilité. Et puis tant que ça n'existe pas ça n'existe pas. L'offre crée la demande. Et on se positionne comme ça aussi nous en tant que professionnels : faisons et on verra ce que ça donne. Encore une fois, si c'est encore des couts assez réduits et des compléments à des masses budgétaires beaucoup plus lourdes bah voilà, n'oublions pas l'essentiel quoi, c'est surtout ça. Je crois que minimiser l'expert et l'import et se dire que pour planter un sol il suffit de bien le connaitre et éventuellement l'amender simplement pour qu'il soit plus fertile et qu'il offre une végétation plus luxuriante et visite.

13. **Quels seraient pour vous les principaux services rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Euh… Qu'est-ce que j'attends du sol ? C'est difficile… Il y a deux choses : si c'est un sol terre battue et nu c'est comment il devient fertile et support ; si il y a déjà quelque chose qui m'empêche de le voir, c'est comment par la végétation je vais en déduire une nature de sol en m'associant à des experts. Donc le service rendu c'est en fait… c'est qu'est-ce que le nature de l'existant va conduire dans le projet. Et ensuite c'est… je ne sais pas… comment est-ce que le sol est aussi moteur d'une histoire dans un projet, qu'il raconte une histoire. Et le sol fait partie dans les positions 1 ou 2 de l'histoire de nos projets : il raconte la ville, une histoire industrielle, agricole, etc. C'est un moteur, une mémoire d'un projet.

14. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Régulation de la qualité de l'air : 0

Régulation du climat : 5

Régulation des aléas naturels : 5
Stockage des déchets : 4
Purification de l'eau : 4
Habitat pour la biodiversité : 5
Biomasse : 5
Ressource ornementale : 5
Energie : 3
Support d'infrastructures et bâtiments : 3
Support d'activités humaines : 3

Entretien avec Aménageur – site MAMP – SM (21.06.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Définir le sol ? Ben c'est le support du projet, c'est euh… c'est ce qui au départ en fait amène de la réflexion, parce que la topographie c'est ce qui est nécessaire pour réfléchir… que ce soit pour la composition urbaine ou même après lorsque l'on précise les études, on en vient toujours à la topographie. C'est l'élément de base. Ensuite en aménagement il y a une logique du sol à travers la question de la charge foncière, donc voilà, le foncier, c'est un élément… si on fait une extrapolation mais dans un bilan d'aménagement. Car le sol il y a la question de sa valeur, prix au m2 d'acquisition, et puis sa valeur en termes de surface constructible, ça lui donne une valeur et ça vient participer à l'équilibre d'un bilan, d'une opération. C'est vu aussi comme ça donc, sous l'angle de la promotion immobilière. Et puis sur Sainte Marthe, le sol on le voit aussi d'un côté patrimonial car on est dans un urbanisme vernaculaire, secteur anciennement bastidaire. Donc c'est lui qui vient… d'ailleurs sur Sainte Marthe il y a une partie classée, pas seulement les bâtiments, mais c'est le sol qui vient aussi au titre des monuments historiques. Il y a donc une notion de patrimoine. Et puis je dirais aussi qu'il y a une notion technique, avec des études très techniques, savoir sa composition, et ce qui vient enrichir les études, ce qui est nécessaire pour bâtir le prochain d'un point de vue plus ouvrage technique : qu'est-ce qu'il faut faire pour que le projet tienne sur ce sol, que le bâtiment soit stable, pour que ça fonctionne… Donc c'est aussi très important car si la nature du sol est mauvaise ça génère des coûts, des contraintes. D'ailleurs sur ça je voudrais apporter une petite nuance par rapport à ce que vous avez dit en préambule, qui est logique, parce qu'effectivement on ne s'y attend pas. Sainte Marthe c'est de l'extension urbaine dans un secteur agricole, mais en fait dans la première centralité en développement aujourd'hui ce sont des friches urbaines. On est sur un sol… on a trouvé de la pollution aux hydrocarbures, de l'amiante à 3 mètres de profondeur, des pneus. Donc il y a du remblai et il y a eu de la pollution. Donc on ne sait pas si c'est à cause du remblai ou à cause d'une activité qui a généré de la pollution. Donc c'est vraiment sur tout le cœur de la centralité Mirabilis qui est concernée par ça. Le sol a une vie aussi.

2. **Aujourd'hui dans le monde de l'aménagement, vous trouvez que le rapport au sol est fort ? Faible ? Ou ça dépend des contextes, du site, etc. ? Ce sont des questions que vous vous posez souvent ?**

Oui, j'aurais du mal à faire une réponse générale mais oui je pense que le sol est… oublié pendant un moment en fait. Il revient après comme une contrainte technique, oui. Ca dépend… à quel acteur on pose la question dans la chaine de l'aménagement et *in fine* de la construction. Et puis je dirais que ça peut dépendre du territoire. Car sur cette opération, il y a certains aspects du sol comme l'urbanisme vernaculaire auxquels je suis confrontée car c'est un territoire particulier. Peut-être que dans des endroits où les enjeux sont différents, peut être que la conscience du sol émerge par d'autres acteurs aussi. Je pense par exemple à l'architecte des bâtiments de France qui regarde le sol et le conservateur des monuments historiques qui regarde le sol comme un patrimoine. Et nous du coup ça nous force aussi à le voir comme ça, au cas où au départ ça venait pas spontanément. Donc oui parfois le sol est oublié en tant que tel est peut-être plus vu pour les aménageurs comme une parcelle que comme un sol. C'est du foncier. Si je me place d'un point de vue promoteur au départ le sol est un foncier : il faut maitriser un foncier, une parcelle. A ce stade là, au moment où la vente commence à se conclure il peut s'interroger sur la nature du sol, sur

la qualité du sol, parce que ça va venir impacter le bilan de l'opération. Et le sol en tant que… euh… d'un point de vue historique, est-ce que c'est agricole… enfin je dirais dans son ensemble, donc quand on élargit le point de vue, quand il est vu comme un territoire et non plus une parcelle… là c'est plutôt… les aménageurs peuvent avoir ce point de vue-là, les urbanistes architectes qui travaillent avec les aménageurs sur ce projet, les services techniques de la collectivité, de planification, d'aménagement, etc. peuvent avoir cette vision. Ça dépend aussi à quelle échelle on est dans la réflexion urbaine.

3. Les projets d'aménagement réclament-ils une certaine pluridisciplinarité ?

Evidemment, c'est vraiment pluridisciplinaire et je pense à un point qu'on n'imagine même pas quand je dis pluridisciplinaire. Parce qu'il y a vraiment beaucoup de disciplines, c'est vraiment énorme. Les projets urbains ne réclament pas d'interdisciplinarité, ça s'impose aux acteurs, c'est obligatoire, surtout en aménagement encore plus que quand on fait de la promotion immobilière par exemple.

4. Etes-vous confronté à cette pluridisciplinarité, et comment la pratiquez-vous ?

On y est confronté tout le temps, car déjà notre métier c'est de la pluridisciplinarité. Donc qu'est-ce que c'est que faire de l'aménagement en tant que pilote d'opération sur une ZAC ? C'est d'abord une question foncière. Car il faut maitriser des terrains pour les équipements publics ou de la construction dans le cas où le parcellaire n'est pas cohérent avec le projet imaginé. Donc le premier prisme c'est le foncier. Deuxième thématique ce sont toutes les études, préalables, programmations, urbaines, et le volet études se décline tout le temps. On a une partie administrative, parce que sur les opérations d'aménagement d'ampleur comme celle de Sainte Marthe, il y a une déclaration d'utilité publique, on a aussi des particularités avec des dossiers au titre de déclaration du patrimoine, on pourrait en avoir d'autres selon les opérations, des questions de dérogations au titre des personnes à mobilité réduite, car le territoire étant vallonné, parfois on ne peut pas respecter certaines réglementations. Donc il y a une partie réglementaire, juridique où on travaille avec des avocats, des juristes, etc. Une fois que l'on maitrise des terrains et que le projet est validé, on commence à le décliner de façon opérationnelle. Et là on a toutes les études opérationnelles justement, par distinction avec les études pré-opérationnelles et générales. Donc qu'est-ce que ça veut dire ? Et bien que l'on désigne un maitre d'œuvre qui travaille sur des avants projets avec des services techniques, avec des AMO spécialisés sur l'hydraulique, sur la qualité environnementale, l'urbaniste conseil, etc. en fonction du besoin. Donc là on entre déjà dans la technicité. On va faire des études géotechniques pour enrichir tout ça. Ensuite, on va travailler sur des permis de construire, et sur les opérations où on est vraiment impliqué dans la création des permis, comme c'est le cas sur Sainte Marthe, on va être amené à côtoyer à travers le promoteur et l'architecte tous les BET : thermique, structure, gestion des eaux pluviales du bâtiment, etc. Donc encore toute une palette de disciplines à ce stade-là. Ensuite on a tout l'aspect commercialisation, donc vente des terrains. Et enfin, on a un aspect important en ZAC, c'est que lorsque l'on a créé les ouvrages, on ne les rétrocède pas à la collectivité tout de suite. Souvent il y a un temps de latence, c'est encore une procédure administrative particulière qui peut prendre du temps, donc on gère nos ouvrages, on fait de la gestion urbaine de proximité. Et là, on est en contact avec les représentants de la société civile, les habitants, et on est sur les thématiques de nettoyage, entretien d'espaces verts, réparation de mobilier urbain, etc. Donc encore quelque chose de différent. Et transversalement à tout ça on peut être aussi dans une démarche de communication et de médiation. Avec des agences de communication, on parle cible, création, etc. Donc la pluridisciplinarité s'impose en aménagement, ne serait-ce que parce qu'on doit faire. Elle vient ensuite se décliner selon les acteurs avec lesquels on travaille. Et ensuite, en fonction de l'opération, il peut aussi y avoir des disciplines particulières. Par exemple à la ZAC de la Capelette, la personne qui va travailler sur cette opération va développer des compétences sur la dépollution. Moi en travaillant sur Sainte Marthe je développe des compétences sur l'aspect patrimonial. Donc en fonction de l'opération on a des disciplines particulières. ZAC de la Valentine, c'est une ZAC commerciale, on va avoir des compétences liées aux commerces. Et ça induit qu'on ne travaille pas avec les mêmes acteurs. Il y a les composantes de base qui se déclinent ensuite de façon particulière selon l'objet même de l'opération que l'on suit. Donc c'est un métier où l'on… Alors justement quand j'étais étudiante on m'a dit qu'en tant qu'urbaniste, on était expert en rien et compétent en tout. Et c'est vrai. On doit tout le temps avoir une certaine curiosité, on apprend tout le temps et ça change tout le temps, on ne voit jamais la même chose. A cet endroit-là dans la chaine de l'aménagement c'est un métier évolutif, aussi en fonction de la vie de l'opération. J'ai la chance d'être sur la

même opération depuis plusieurs années, donc je vois plusieurs étapes concernant les thématiques que j'ai citées tout à l'heure, mais sur des opérations qui ont vu plusieurs responsables, certains on fait beaucoup d'études préalables, d'études générales, le travail sur le foncier, etc. en lien avec le service foncier, etc. et puis on a arrêté. D'autres ont travaillé beaucoup plus sur l'aspect technique, avec les services techniques, ou sur l'aménagement public. Donc ça veut dire marché public, c'est lié hein, consultation, marché public, on travaille avec le service marché et on doit s'adapter à l'évolution réglementaire. D'autres vont être plus sur la fin de l'opération donc beaucoup plus sur les dossiers de rétrocession des ouvrages, comment on monte les dossiers, etc. Et on développe des compétences en fonction de la phase de l'opération.

5. **Quand vous avez à faire à un BET spécialiste – technique, la compréhension se fait-elle facilement ?**

Alors ça va dépendre de chaque personne et de sa connaissance même simple du vocabulaire. Evidemment c'est rare en tant que pilote d'une opération que l'on ait pu voir tout dans nos études. Donc il va y avoir une difficulté de compréhension. Un exemple tout simple pour un profil universitaire comme le mien, c'est les chantiers. J'ai l'impression qu'ils parlent une autre langue. Donc ou ça nécessite d'être… que ce soit vulgariser. Et généralement tous les intervenants experts, spécialistes, sont habitués à ce que les MOA, puisque nous nous sommes du côté de la MOA pour Sainte Marthe, ne soient pas experts en tout. Donc ils savent vulgariser les choses. Donc il ne faut jamais hésiter à poser les questions. Et il y a quand même aussi évidemment une part de recherche personnelle, de curiosité. Il faut aussi faire sa part de chemin pour pas tout le temps avoir à poser les questions. En équipe, en interne, c'est aussi important… on travaille rarement en équipe, en transversalité car chacun à son opération, mais c'est aussi important de communiquer et discuter entre collègues quand on est confronté à quelque chose de nouveau… Bon moi quand j'ai commencé, en stage en plus, je ne comprenais pas grand-chose en réunion chantier, je notais tout, et ensuite j'allais poser les questions à mon responsable, soit rechercher les informations. Après une fois, deux fois, trois fois, ça finit par rentrer, on apprend. La mémoire dans notre métier c'est très important. Car on est confronté à une masse d'informations conséquente, et en plus, ce que je disais toute à l'heure, qui n'est pas toujours la même dans le temps. Donc parfois 4 ans après il faut faire quelque chose que l'on a fait 5 ans avant et il faut se rappeler comment on a fait. Les projets même à l'intérieur d'une opération avancent de manière différente. L'aménagement de toute façon c'est un temps lent. Voilà pour moi le court terme en aménagement c'est 5 ans. Le temps de dire on sort le projet et que l'ouvrage sorte de terre. Donc il faut avoir une bonne mémoire pour se rappeler de l'historique des choses. Donc on a des outils pour nous aider, on consigne un certain nombre de choses. Mais la mémoire est importante. Et au final, on ne sera jamais expert d'un domaine, puisque même quand le domaine est vulgarisé avec des BET très pédagogues, on ne pourra jamais en savoir autant qu'eux. On a besoin de comprendre l'essentiel pour pouvoir avoir un dialogue, pour analyser la situation, pour prendre des décisions… mais on est expert en rien. Effectivement, quand j'ai fait l'IUAR j'avais déjà identifié que je voulais travailler sur une ZAC et je me positionnais comme urbaniste intellectuellement. L'urbanisme c'est quelque chose qui encore aujourd'hui n'est pas réglementé, il y a plusieurs définitions, c'est une science particulière. Et en exerçant je me suis aperçue que je ne me considère plus comme urbaniste, d'ailleurs je travaille avec un urbaniste qui fait de la conception urbaine, des plans masses, etc. J'ai une lecture de ça et une compréhension. Mais aujourd'hui je fais du management de projet. C'est ça mon métier. C'est du management de projet en aménagement du territoire, et c'est du pilotage d'opérations. Et donc je pense que c'est sur ça qu'on acquiert une certaine expertise.

6. **Toute à l'heure vous m'avez parlé de votre dialogue avec le BRGM pour comprendre le sol qui est sur place. Est-ce que justement cela vous est déjà arrivé de travailler avec des agronomes ou des pédologues sur ces questions de considération, de qualité des sols sur site ? Est-ce que vous avez déjà eu à lire des analyses agronomiques ?**

Alors des agronomes pas directement. Mais récemment on a été contacté par Intermarché qui veut développer des projets de fermes urbaines, donc qui s'intéresse au sol du point de vue agricole. Donc on a échangé avec le BET qui les accompagnait sur l'étude. Donc par cet angle là il y a eu ça. Apres les agronomes… bon, les exemples que vous avez donnés non. Mais par exemple sur Sainte Marthe il y a un projet de ferme pédagogique. Donc on a eu des échanges avec la fermière, mais pas du point de vue de son

métier ou du sol, de ce qu'il peut apporter, mais plutôt du point de vue organisation. Parce qu'en fait il y a une voie qui doit passer en limite de cette ferme pédagogique, donc il y a des interfaces avec des enjeux spécifiques à gérer parce qu'il y a des animaux, parce que c'est une zone qui est exploitée en agriculture avec label biologique. Donc le projet d'aménagement on doit appliquer des contraintes fortes pour pas polluer les sols pendant les travaux ni après. Sur la mise en œuvre des travaux on a une réflexion aussi, parce qu'évidemment pour faire une voie de dix mètres, l'emprise du chantier est plus importante : donc comment on vient s'insérer et travailler dans une ferme. Et à la fin, comment on restitue les terrains, car on est sur une topographie de vallon que l'on doit situer. Donc voilà, c'est uniquement sous ces aspects là que j'ai été confrontée à la question de disciplines particulières en rapport avec le sol en fait.

7. **Concernant la problématique de gestion des sols sur site, est-ce que c'est une pratique que vous essayez de mettre en place sur tous les sites où vous intervenez, de privilégier les sols en place et de les réutiliser ? Notamment quand arrive la définition des lignes budgétaires pour la phase chantier, savoir combien de m3 de terre on peut faire sortir du site, comment on va réutiliser l'autre quantité sur place, etc. ? Est-ce que l'on ne peut pas déjà faire avec ce qui existe déjà ? Est-ce qu'il y a une limite de quantité de terre que l'on excave du site et envoie en décharge ?**

Sur cette vision d'ensemble il y a plusieurs choses : la théorie et le cas concret. En théorie, honnêtement, jusqu'à aujourd'hui c'est assez compliqué d'avoir une gestion intégrée, fiable, complète et efficace ne serait-ce que sur les aménagements publics. Car c'est une terre qu'on maitrise et qu'on va toucher. Il y a des effets qui se sont faits, par exemple : le projet nécessite des déblais de terre importants, à côté on sait qu'on va devoir remblayer, enfin ça peut être un tiers, ce n'est pas forcément le même MOA. Jusqu'à présent, j'ai surtout vu ça au niveau vraiment très opérationnel, quand on est déjà avec l'entreprise sur site, le MOE, les entreprises qui essaient de s'entendre entre-elles, les MOE entre eux, qui demandent l'accord des MOA. Mais on n'a pas une vision suffisamment… la vision on peut l'avoir, mais c'est la mise en musique de cette vision qui aujourd'hui fait défaut mais aussi parce qu'entre la vision de départ, qui implique une programmation, et finalement la programmation réelle, donc le planning, et là parfois ça vient chahuter la vision initiale parce que ben l'opération sort pas au moment prévu, et que ce qu'on aurait pu faire, on ne peut pas. Donc c'est la première difficulté. Et puis il y a autre chose, aussi la confrontation entre la théorie et l'opérationnel, le fait de… enfin d'un point de vue environnemental, il vaut mieux éviter de chahuter trop la topographie, il vaut mieux éviter les mouvements de terre et suivre le profil des pentes naturelles. Et là sur Sainte Marthe on vient se confronter à un problème, car le sol il n'est pas plat, il est en pente, et avec des fortes pentes régulières de 5 à 6%. Et la réglementation régulière sur l'accessibilité c'est 4% de pente. Donc là on est face à une contradiction, au stade des études préalables des AMO BET environnement qui préconisaient de suivre la topographie du terrain et d'éviter les mouvements de terre, et puis au niveau de études techniques du projet, le MOE qui va nous rappeler la réglementation. Normalement il faut essayer de ne pas être dérogatoire, donc il faut une pente de 4% ou 5% sur un certain nombre de mètres linéaires avec des stations de repos, etc. Sur un site comme Sainte Marthe c'est compliqué. Donc il faut quand même qu'on maintienne un chemin. Donc même si on est dérogatoire il faut quand même qu'il y ait un chemin qui traverse les endroits clefs de la centralité qui lui respecte le pourcentage. Et du coup ça amène à faire des mouvements de terre très importants, qui rentrent en confrontation avec d'autres objectifs.

8. **Quand les terres sont excavées, y a-t-il un regard de leur qualité ? Est-ce que vous savez où elles partent ? Qui décident de où va cette terre ? Et comment la décision est prise ?**

Alors déjà, pour les terres excavées, sur sainte Marthe, il y a une charte sur la qualité environnementale où il est demandé que les terres, enfin les déchets etc. soient évacués dans des autres centres spécialisés. Des bons de livraison qui sont demandés, qui doivent être fournis. On a un AMO qualité environnementale qui nous accompagne sur ça. Mais ça reste vraiment projet par projet, on n'est pas sur la vision d'ensemble (gestion globale des terres sur site) que vous avez exposé au début. Alors la qualité on le sait en amont, au stade des études géotechniques. Le MOE en a besoin pour faire des études fiables et faire une estimation fiable. Ça c'est important au moment où on va lancer la consultation pour les travaux. Donc sur les études géotechniques il y a toute une… plusieurs types d'études, de classification, en fonction de l'étape du projet. Donc il y a la G5 qui est une étude… enfin c'est celle qu'on commande en premier pour la connaissance du sol. Ensuite il y a la G2. Ensuite sur chantier au niveau de l'exécution il y a la G3. En parallèle le MOA doit

commander une G4. La G1 je sais plus ce que c'est. Bref, ce sont des études géotechniques obligatoires et de plus en plus précises, en fonction du positionnement. La MOA a l'obligation de faire G2 et G4, et l'entreprise la G3. Et c'est nécessaire pour préciser le projet, en amont et ensuite concrètement en phase exécution. Et l'entreprise… parce qu'à côté de ça il y a un contrôleur technique… Donc si la G4, donc c'est le MOA qui la finance… si ça ne valide pas la G3 et bien le projet est arrêté, les choses ne peuvent pas se faire. Donc c'est vraiment très important. Donc ça c'est pour la qualité de la terre et des sols. La question de où la terre va, honnêtement, non. Enfin on peut savoir où l'entreprise a l'obligation d'évacuer cette terre, mais on ne pose jamais la question. C'est l'AMO qualité environnementale qui vérifie. Et donc je ne sais pas où elle va la terre.

9. **Et quand les terres sont amenées, est-ce qu'il y a une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ?**

Alors quand on a besoin d'une terre particulière, on va être plus proactif. C'est-à-dire que l'on va demander au MOE dans un cahier des charges le niveau de la qualité de la terre dont on a besoin. Et on va vérifier quand la terre arrive, demander à des BET de vérifier sous le contrat du MOE que la terre est bien bonne et conforme. Là où on est très vigilant sur cette question de la qualité de la terre c'est quand il y a des remblais. C'est-à-dire que souvent, quand le promoteur veut construire dans un site en extension comme Saint Marthe, il va vouloir taluter, il ne va pas construire à la limite de la propriété, il va faire un talus. Et cette zone là il va avoir besoin de la remblayer. Donc nous on demande au promoteur de remblayer cette zone et il faut que l'on soit vigilant lors de la réception de ces remblais, car si l'entreprise a mis des mauvais remblais, de la mauvaise terre pour éviter d'avoir à l'évacuer en décharge, et bien qu'est-ce qu'il va se passer ? Vous faites le trottoir ça va s'affaisser, au bout de quelques mois, quelques années. Donc là il faut être extrêmement vigilant. Personnellement je n'y ai pas encore été confrontée. Mais je sais que ça arrive souvent, donc maintenant on essaie de mieux se sécuriser en créant… donc déjà des zones occupées par des tiers on crée des conventions d'occupation temporaires. Et récemment on a créé une annexe technique sur le sujet spécifiquement pour engager le MOE et son entreprise qui est aussi signataire de la convention, et qu'on puisse se retourner contre eux si jamais au moment des essais, de tests des remblais, on constatait un défaut sur la terre.

10. **Qui réalise ces tests ?**

Qui les finance vous voulez dire ? Bah en fait c'est un BET spécialisé pour faire des pénétro, des tests Q4, etc. Mais en fait l'important c'est qui les commande et qui le contrôle. Donc là il y a plusieurs pratiques. Dans la logique c'est le promoteur et son entreprise qui les font faire. Mais là il faut être sûr que le rapport est exact et bien fait. Après il y a plusieurs façons de faire : les contrôles, faire appel à un BET, un autre, pour avoir une deuxième lecture, que ce BET soit présent au moment où les tests sont fait sur site. On peut aussi les faire faire par un BET choisi par l'aménagement mais les financer par le promoteur.

11. **Je développe un outil qui vous aiderait, vous acteurs de l'aménagement, à appréhender peut être plus facilement cette question de prise en compte de la qualité agronomique des sols en amont des réflexions sur un projet d'aménagement. Est-ce que vous pensez que rajouter un outil, avec toute la réglementation qui existe déjà, ça ne contraint pas… enfin ça n'encourage pas l'acteur à l'utiliser ? Est-ce que vous pensez donc que cet outil soit utile ? Doit-il être tout nouveau ? Ou intégrer à des outils déjà existants ? Est-ce que ça vous plairait d'ajouter des paramètres agronomiques aux analyses de sol qui sont déjà faites (*e.g.* pollution, géotechnie) ?**

Alors, derrière agronomie, concrètement, qu'est-ce que vous y mettez ? Qu'est-ce que ça pourrait apporter comme informations techniques, opérationnelles, stratégiques, je ne sais pas ? Là pour vous répondre, il faut que je rappelle qu'est-ce que nous on est. ON est aménageur. Donc notre travail en tant que MOA dans une opération, c'est d'enclencher toutes les études nécessaires pour mener à bien l'opération : d'un point de vue développement donc mise en œuvre et gestion. En l'occurrence, sur cette opération et compte tenu du contexte du territoire, il y a un sujet hydraulique. Donc déjà d'un point de vue concret, opérationnel, on a été amené à faire des tests de perméabilité pour justement connaitre la capacité du sol à pouvoir absorber, limiter la rétention. On a fait ces études car on est accompagné par un AMO sur ces questions hydrauliques et donc l'AMO, avec le MOE, on a dit ce serait intéressant de tester ça pour voir si le projet hydraulique proposé par le MOE on pouvait le penser autrement en fonction des résultats. Donc on a fait ça. Donc ce que je veux vous dire c'est qu'on met en œuvre des études car on a un besoin, une demande,

une commande éventuellement. On ne charge pas pour chercher. Ce qui veut dire que… pour l'hydraulique, on doit car le territoire le nécessite, engager une grande étude hydraulique. Et dans ce cadre-là on va être amené à faire un certain nombre de sondages, de recueil de données, des choses particulières qui vont loin car c'est nécessaire dans le cadre d'une étude qui doit définir un nouveau schéma pluvial. Donc tout ça pour dire que si le projet qu'on développe, donc le projet il est, surtout sur Sainte Marthe car il a été porté en direct au début par le concédant, donc la Ville de Marseille, jusqu'au projet de réalisation… Donc le concédant fait le projet et si dans son projet c'est de développer de l'agriculture urbaine, ou de la biomasse ou ce genre de chose, et bien dans ce cadre-là on va aller chercher des BET spécialistes pour mettre en place le projet. Et sur tout le secteur nord de l'opération il y a un temps où l'on va repenser le projet et le développement du territoire pour y mettre de l'agriculture urbaine. On travaille d'ailleurs avec le concédant sur le cahier des charges. Donc dans ce cadre-là on peut y être amené. Et donc j'insiste sur notre position d'aménageurs, car s'il n'y a pas d'objectifs derrière on ne va pas aller chercher l'information.

12. Quels seraient pour vous les principaux services rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?

Les services rendus par les sols ?… D'accord… Je n'ai jamais envisagé le sol comme ça, comme quelque chose qui rend service à l'aménagement. C'est assez difficile de répondre… C'est difficile de répondre car moi quand je suis allée sur ce qu'on m'a amené à Sainte Marthe, j'ai vu un territoire en fait, je n'ai pas vu un sol… Donc non, vraiment, pour moi c'est… j'ai jamais vu ça comme ça, voilà. Parce que le sol il rend des servcies… oui enfin voilà… Est-ce qu'il rend des services ? Est-ce que ce n'est pas le projet qui vient utiliser le sol ? Est-ce que c'est le sol qui rend un service ? Ça dépend vraiment du sujet. Parfois c'est… Je vais essayer de donner un exemple concret : on va sur un territoire, on l'arpente, on voit une dépression naturelle à proximité d'un fond de vallon. Et là, dans cette logique le sol peut me rendre le service de faire une zone de rétention. Mais il peut aussi y avoir des cas où il y a un plan en papier, un fond de vallon, des logiques d'aménagement, on identifie un point bas mais sans aller voir si sur site il y a cette dépression naturelle… et tout à coup on vient utiliser le sol pour faire un point de rétention peut être avec plus de décaissement et déblais qu'ailleurs… Et ce n'est pas le sol qui rend service. On vient modifier le sol pour les besoins d'un projet.

13. Alors je vais formuler la question différemment : quels sont les services que vous attendez d'un projet ?

Effectivement ce n'est pas la même question ! Alors il y a deux choses. On essaie de faire en sorte que le projet s'insère au mieux dans un territoire, et ça c'est important, on travaille avec des urbanistes, et architectes conseils… et on essaie de… un projet réussi c'est un projet qui n'est pas une verrue dans un territoire, qui s'est bien intégré. Après on prend aussi les opérations au stade où elles en sont et quand il y a des voies qui sont tracées et figées, ben elles peuvent plus évoluer. Donc là finalement… On n'a pas une action sur tout. Enfin pour moi quand même la notion de territoire par rapport à cette question de sol est vraiment importante. Quand on a un parc à développer par exemple : on a dans le projet d'aménagement une zone de rétention. Sur Sainte Marthe quand les zones de rétention ont été pensées, le travail avec les services a été de dire on ne veut pas faire des rétentions mais on veut faire des dépressions paysagères qui soient support de parc public. Et le premier bassin de rétention qui a été réalisé… il y a une question de lecture qui est importante. Pour faire ce bassin, la voie est venue faire barrage, on est venu agrandir le fond de vallon et faire des dépressions, et c'est ce qui est fait en premier. Donc en premier c'est de la terre. Et donc évidemment au début même aux prémices du développement de la végétation, on voit de la terre etc. Donc quand on va sur site, en termes de langage, on dit que c'est le bassin de Sainte Marthe. C'est censé être un parc et ça doit être un parc. Donc il y a tout un projet d'aménagement à faire pour que la lecture du parc puisse se faire. Et justement ça c'est en court. Le bassin a été fait avec un objectif de parc, donc il y a quelques bosquets sur les talus etc. mais qui sont trop limités pour que ce site soit perçu comme un vrai parc. Donc dans un acte 2 du projet, on a vraiment identifié des zones et travaillé avec le service des espaces verts pour imaginer cette zone comme un parc. Donc voilà, ne pas voir un ouvrage mais un équipement au service de la population.

Entretien avec MOA – site MAMP – SM (20.06.17)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Je dirai que c'est la substance de la terre et de la vie. Et après ça peut être le support. Donc voilà, la substance de la vie, de la terre, une substance vivante, et le support de notre vie sociale.

2. **Aujourd'hui dans le monde de l'aménagement, vous trouvez que le rapport au sol est fort ? Faible ? Ou ça dépend des contextes, du site, etc. ? Ce sont des questions que vous vous posez souvent ?**

Non c'est vraiment un élément oublié. On prend en compte les hauteurs… Le sol n'est vu que comme une surface sur lequel on s'appuie pour donner de la hauteur, pour le creuser quand on en a besoin. Mais il n'est pas pris en compte en tant que tel, en tant que richesse.

3. **Et vous, personnellement, est-ce que vous avez un rapport au sol important dans votre métier ? Est-ce qu'il vous arrive parfois de tirer la sonnette d'alarme en disant « attention, le sol est important » ?**

Oui, j'essaie !

4. **Et qu'est-ce qui bloque dans cette considération du sol, pour qu'il soit vu autrement que comme une surface ? Ce sont les ressources financières ? Les élus qui bloquent ?**

Non, je pense que c'est une vision de l'aménagement que l'on a. Bon moi, j'ai commencé à travailler dans l'habitat il y a 5, 6 ans, depuis 2012. Au début, on prend les choses tels quelles sont. Et ensuite moi très vite je me suis dit, et notamment parce que je travaille sur Sainte Marthe, j'ai été confronté au problème, bon d'abord, de l'absence totale de prise en compte du relief. Bon le sol c'est aussi un relief, donc un problème de topographie, etc. Ensuite un problème hydraulique, parce que le sol ça sert aussi à absorber. Et à un moment je me suis dit mais est-ce que nous dans notre projet d'aménagement réellement on considère le sol, de ce qu'il est et de ce qu'il nous apporte. C'est pour ça qu'aujourd'hui on est clairement dans la remise en cause d'un projet. Bon voilà, ce sol-là il est vivant, il est l'expression d'une topographie et de l'histoire de ce lieu. Et moi je n'ai de cesse depuis trois ans, même écrit officiellement dans les délibérations… bon pas le sol en tant que tel mais c'est lui qui fait réaliser… je n'ai de cesse de dire attention, on est en train de bouleverser et malmener un territoire, pas seulement en surface, et on est en train de… ben on aménage dans le mauvais sens. Et d'ailleurs la première chose que l'on a faite avec la SOLEAM, donc au tout début, on est allé voir le BRGM. Pour essayer de comprendre de quoi été fait… bon et notamment parce qu'on soupçonnait, et on a bien fait, de forts problèmes hydrauliques, parce qu'il y avait des remontées d'eau un peu partout… Donc on est allé voir le BRGM pour savoir de quoi est constitué notre sol, est-ce qu'ils avaient des analyses, etc. Donc c'est une des premières choses qu'on a faite.

5. **Et donc là le projet est entre parenthèse, et donc est-ce que vous trouvez que les acteurs qui interviennent sur ce site ont un changement de point de vue sur cette question de considération du sol, en disant que finalement aujourd'hui on peut stopper un projet car il n'est pas compatible avec les attentes du projet, que ce n'est pas trop tard ?**

Oui, maintenant on a une écoute politique. Notre élu a concrètement écrit à l'aménageur en disant à cet endroit-là vous stopper tout, à cet endroit-là on veut de l'agriculture urbaine. Donc il y a des choses très fortes qui ont été dites dans l'année, et qui émanent de tout un cheminement, d'un processus technique, pour prouver que là, l'intervention très lourde en logement et en infrastructure très lourde était prévue n'est pas la plus bénéfique, on bouleversait trop un territoire.

6. **Et tout ça, ce stop dans le projet voire ce retour en arrière, l'aménageur il le prend comment ? Car je pense que d'un point de vue ne serait-ce que financier, cela doit avoir des répercussions pour eux ?**

Sur le… Disons qu'au départ ce qui était compliqué c'est que nous même on n'était pas sur de là où on allait, et on n'avait pas un discours très clair. Donc l'aménageur essayait d'avancer son opération comme une opération classique. Maintenant ils ont compris que là il y avait, on revenait en arrière… Et ils sont même les premiers à dire… Bon d'ailleurs parce qu'il y a plein de problèmes de gestion, dû au fait que l'on est sur un territoire très particulier : problème de gestion de proximité (il y a déjà des habitants alors qu'il n'y a pas forcément toutes les voiries encore) et problème hydraulique (il faut faire énormément de rétention pour finalement un rapport au logement qui est assez faible). Donc tout ça fait que c'est une opération qui coute cher, et l'aménageur n'est pas là pour se tirer une balle dans le pied. Donc là ils sont

vraiment sur la même ligne que nous. Ils n'ont pas remis en cause, même politiquement, le président de la SOLEAM n'a pas remis en cause la ligne de conduite. Mais maintenant ils nous demandent d'être très clairs sur notre discours. Ils préfèrent qu'on leur dise bon maintenant on stoppe à cet endroit-là… ca 'est normal. Donc c'est là où… parce qu'on a quand même une opération d'aménagement qui tourne, avec des promoteurs qui viennent qui ont des permis, à côté de ça comme il faut freiner ailleurs… c'est ça qui est compliqué à gérer.

7. **Toute à l'heure vous m'avez parlé de votre dialogue avec le BRGM pour comprendre le sol qui est sur place. Est-ce que justement cela vous est déjà arrivé de travailler avec des agronomes ou des pédologues sur ces questions de considération, de qualité des sols sur site ?**

Non, on n'a… L'histoire de l'agriculture n'est pas arrivée tout de suite. C'est-à-dire que là depuis 5, 6 ans, on travaille sur ce dossier avec la jeune femme chez l'aménageur, on est débord parti d'un problème patrimonial, en se disant que l'on est sur un paysage de bastide, etc. qui est vraiment très particulier sur Marseille, qu'il faudrait préserver. L'agriculture est venue dans un second temps, il y a environ deux ans, et c'est il y a deux ans que l'on s'est dit que peut-être on devrait faire appel à des agronomes. Donc on a eu un stagiaire agronome il y a deux ans qui nous a beaucoup aidées, car finalement on découvre un nouveau monde. Et puis, il y a des gens comme la chambre d'agriculture ou la SAFER, avec qui on a plus l'habitude de travailler. Et puis il y a aussi des scientifiques, mais eux réellement non. Je pense que ça va venir maintenant, on en a besoin maintenant.

8. **Aujourd'hui, on dit que les projets d'aménagement sont pluridisciplinaires. Est-ce que vous vous le voyez clairement ? Est-ce que vous avez à faire à des disciplines qui ne sont pas « classiques » de l'aménagement ? Par exemple des géologues, et hydrauliciens, etc. ?**

Ah oui ! C'est un besoin nécessaire aujourd'hui ! Donc on n'est pas encore arrivé au stade où l'on a fait appel à des géologues aujourd'hui, car justement la prise en compte du sol elle n'est pas encore… elle n'apparait pas comme évidente. Mais par exemple nous l'aménageur, qui au départ avait juste des missions d'AMO, un AMO urbain et sur Sainte Marthe un AMO qualité environnementale des bâtiments, ben en fait il a pris un AMO hydraulique, un AMO plutôt archi, et là dernièrement un AMO gestion urbaine de proximité. Et puis après par exemple on travaille avec des partenaires comme la chambre d'agriculture, la SAFER, Terre de Liens… Des gens avec lesquels on n'aurait jamais imaginé travailler avec il y a quelques années. Les environnementaux c'est les bureaux d'études environnemental qui nous font les études d'impact. Les écologues moi je les ai connu… enfin on travaille avec eux via des demande d'études d'impact, etc. Donc on n'avait pas de liens directs avec eux.

9. **Est-ce que cette interdisciplinarité se passe bien ? Est-ce que par exemple les éléments de langage des deux côtés sont facilement appréhendables ?**

Non, c'est compliqué. Par exemple, l'hydraulique c'est juste l'enfer ! D'ailleurs c'est pour ça que l'on a pris un AMO ! Par exemple quand il a fallu comprendre comment fonctionnait le système de l'eau, ce que c'était que le système centennal, décennal, les débits, etc. c'est quelque chose d'ultra compliqué ! Et là un AMO qui fait de la vulgarisation auprès d'autres partenaires c'est très important ! Par exemple, ça nous a permis de travailler en transversale avec d'autres services de la ville ou de la Métropole, comme notamment avec la direction de la biodiversité des parcs et jardin qui nous a aidé a travailler sur les mesures compensatoires, on travaille beaucoup avec les gens qui s'occupent d'écocitoyenneté car il y a un projet de ferme pédagogique, on travaille aussi beaucoup avec la direction régionale des affaires culturelles et l'ABF. Après ça dépend aussi des territoires. Mais je veux dire, évidemment on est en multidisciplinaire. Après, pour appréhendé un territoire, et surtout aussi riche que ça, il faut passer par là. Quand on va voir la directive des eaux, c'est des technico-techniques. Quand on n'a pas quelqu'un pour nous aider à décrypter tout ça, c'est difficile. Mais tout le monde n'est capable de ça ! Nous l'AMO hydraulique que l'on a pris, il est particulièrement doué, et heureusement, pour faire comprendre un processus ultra compliqué et technique à des élus !

10. **Quand vous arrivez sur site, quand on vous confie un projet, quelles sont les études environnementales que vous consultez pour bien vous saisir de l'environnement du site ?**

Bon déjà, il faut faire du terrain ! C'est la base en aménagement, on ne peut pas faire autrement que de voir. Ensuite ça dépend des territoires sur lesquels on travaille, mais il y a toujours ou des études d'impacts, ou d'évaluation des incidences environnementales qui ont été faites, il y a toujours des études

qui ont été faites par les agences d'urbanisme, notamment sur Sainte Marthe des études sur l'habitat, sur l'histoire du site, sur le patrimoine. Tout ce que je peux lire je lis. Après la limite c'est quand l'étude est trop technique.

11. Est-ce que justement cela vous est déjà arrivé de lire des analyses agronomiques ?

Non, non pas encore ! Mais j'aimerai bien ! Mais je pense que là pour le coup c'est pareil, il faudra une aide à la vulgarisation ! Après sur les études agronomiques, on va dire que par intérêt personnel, je sais faire la différence entre un sol acide, un sol basique, de l'argilo-calcaire, etc. Mais après si c'est plus technique, on n'y arrivera pas !

12. Concernant la problématique de gestion des sols sur site, est-ce que c'est une pratique que vous essayez de mettre en place sur tous les sites où vous intervenez, de privilégier les sols en place et de les réutiliser ? Notamment quand arrive la définition des lignes budgétaires pour la phase chantier, savoir combien de m³ de terre on peut faire sortir du site, comment on va réutiliser l'autre quantité sur place, etc. ? Est-ce que l'on ne peut pas déjà faire avec ce qui existe déjà ? Est-ce qu'il y a une limite de quantité de terre que l'on excave du site et envoie en décharge ?

Alors, ce serait une question pour l'aménageur, car ils ont la pratique. Moi de ce que je sais, de ce que j'entends dans les réunions, on limite au maximum le bouleversement du sol, et o limite au maximum, et encore plus sur Sainte Marthe car il y a une charte qualité environnementale et une charte chantier à faible nuisance… Donc on limite au maximum le déblai et le remblai… Et ce que je ne sais pas, c'est quand par exemple il y a creusement pour faire des parkings, je ne sais pas ce qu'ils font des terres. Ce que je sais c'est qu'ils essaient de les emmener au moins loin du site et qu'ils essaient de les réutiliser. Mais ça c'est une question pour Madame Turchini. Ce qui est intéressant pour Sainte Marthe par exemple c'est qu'il y a une carrière, qui a mis en place une autorisation jusqu'en 2020, pour lequel ils ont demandé une extension d'autorisation à la préfecture, et qu'elle propose dans son extension d'autorisation, la possibilité justement car il y a énormément de chantier sur Marseille Nord, d'utiliser une partie de son filon qu'elle a déjà exploité et qu'elle doit refaçonner, toutes ces terres de chantier, plutôt que de les envoyer loin. Donc elle prône le circuit court. Donc ils nous en ont déjà parlé. Donc ils ne peuvent pas encore le faire car ils n'ont toujours pas eu l'extension de l'autorisation, mais on réfléchit, on est attentif à ça. Après sur le chantier, ils ont toujours essayé de ne pas trop creuser, par exemple sur l'école, de ne pas trop envoyer loin les terres, de les réutiliser, notamment pour des remodelages de terrain.

13. De ce que vous savez, le font-ils car ils sont sensibles à cette considération du sol et à la préservation de l'existant, ou car ils y voient un intérêt financier ?

Oui… c'est évident. Alors je ne parle pas de l'aménageur. Je parle de ceux qui font les travaux. Après ils ont peut-être une sensibilité personnelle, mais c'est sûr que c'est uniquement une question de coût pour l'instant.

14. Quand les terres sont excavées, il y a-t-il un regard de leur qualité ?

Non.

15. Et quand les terres sont amenées, est-ce qu'il y a une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ?

Alors ça je n'en sais rien. Alors pour le cas des terres excavées, en fait, je sais qu'il y a des analyses de pollution. En fait, l'aspect sol est… la porte d'entrée est la pollution, pour savoir dans quelle catégorie de décharge on les envoie. Mais pas sur la qualité intrinsèque. Et après, ce que je ne sais pas c'est effectivement concernant les sols qui arrivent sur site.

16. Pour conclure, est-ce que vous pensez que les choses vont changer, que la considération du sol en tant que ressource va évoluer ? Pensez-vous que les décisions prises sur Sainte Marthe et notamment celle de mettre en suspens le projet car il ne correspond pas à la qualité des sols sur site, pourraient se généraliser dans d'autres projets d'aménagement ?

Ça évolue lentement… En fait je crois vraiment que si on n'impose pas dans la planification que le sol soit pris comme un élément au même titre que l'arbre, ou que la trame végétale, on n'y arrivera pas. A part une sensibilité extrême à la terre nourricière ou à l'activité agricole qui a un peu le vent en poupe, la mise en œuvre et l'importance du sol dans les projets d'aménagement, il n'y a pas de sensibilité particulière. Et puis en plus on a un peu l'impression d'être des extraterrestres quand on parle de ça. Il y a défendre que le sol est intéressant car derrière on défend un projet agricole, ça c'est entendable. Mais dire le sol est intéressant pour derrière dire que l'on va faire des parkings et des logements, non là ce n'est pas

entendable. Il faut que ce soit intégrer comme un élément concret de planification. Sinon on n'y arrivera pas.

17. **Et aujourd'hui, est-ce que de par votre activité professionnelle et votre background, vous trouvez des notions clefs ou des outils à mobiliser pour justement ne pas passer pour un ovnis et défendre l'intérêt du sol de manière à ce qu'il puisse être saisissable par tous les acteurs présents sur le projet ?**

Pas finement… Si on tient ce discours, tout de suite en face on va avoir quelqu'un qui va dire « elle ne veut pas construire ». Et donc on a du mal à être entendu. Parce que, pour les… comment expliquer… Mise à part la fonction de rétention et de non imperméabilisation du sol que le sol peut jouer dans un projet, on n'a pas d'arguments à opposer aux promoteurs, à l'aménageur pour dire il faut le prendre en compte globalement dans votre construction, c'est impossible. C'est très compliqué. On est trop dans le ou bien on préserve… On n'est pas dans l'intégration du sol, voilà. Si on préserve le sol ça veut dire qu'on ne construit pas, c'est un peu ça. Et d'ailleurs on en est arrivé là à Sainte Marthe : on préserve pour qu'il y ait un écoulement d'eau, pour qu'il y ait de l'agriculture, mais on ne l'intègre pas au projet même. Par exemple le sol dans les projets de construction est uniquement vu par l'aspect pleine terre. Dans les PLU, on oblige à un pourcentage de pleine terre, donc ou bien on essaie de déroger pour faire des parkings, ou bien on essaie de faire avec ce pourcentage. Mais l'importance du sol n'est pas du tout intégré à la reflexion. Mais en même temps vous voyez, quand on en parle, moi je n'arrive pas à dire comment on pourrait faire autrement. Quels sont les éléments du sol que l'on pourrait intégrer dans un processus ou un document d'urbanisme pour que les choses changent. Parce qu'en fait il est juste un support, il n'est jamais une contrainte. L'hydraulique c'est une contrainte. Si on ne le prend pas en compte c'est tout inondé. Le sol qu'est-ce qu'il nous fait ? A part l'excaver ? Rien, il ne nous apporte rien ! J'exagère le trait, mais bon. Donc voilà, il faut une intégration de la richesse endogène, de ce qui est là sur place. Après, je ne sais pas comment ça se passe dans les autres villes, et ce serait intéressant à voir, mais nous on a un gros problème : les parkings. Quand on est en développement de la ville c'est encore plus terrible, parce que nous il y a aucun transport en commun. On a une commune hyper étendue et on a tellement peu de transports en commun ou bien ils sont tellement peu efficaces que tout le monde veut trois ou quatre voitures, donc ils creusent des parkings sur 20 mètres. Et ça, 20 mètres, sur des parcelles qui sont grandes, ça fait des quantités énormes de terres à excaver. Quand on est en centre-ville on pourrait imaginer, politiquement ce serait très fort, on n'exigerait pas de places de parkings. Les gens 'ont pas de voiture, ils loueraient, ils feraient autrement. Ça, ça pose un vrai problème, parce que d'abord c'est coûteux, donc les promoteurs râlent, parce qu'ensuite ils ont des appartements trop cher, ensuite les aménageurs ne peuvent pas faire leurs voiries car ils ont besoin de creuser de telle façon, et puis ça coûte cher parce qu'il faut enlever cette terre et que cette terre elle a une valeur… Le problème des parkings en souterrain c'est un vrai problème, de la mutualisation des parkings… Enfin voilà, les parkings silo qui marchent très bien dans certaines villes, chez nous ça ne fonctionne pas bien. Les promoteurs ne veulent pas mutualiser les parkings, parce qu'ils se disent que s'ils vendent un logement avec une place dans un parking silo et bien ça ne va pas fonctionner. Et puis il faut mutualiser, donc c'est des divisions en volume, et donc personne ne veut s'y pencher quoi. Mais ça c'est un vrai souci pour le sol, car du coup ils disent qu'ils ne savent pas faire.

18. **En parlant de cette pollution, les analyses agronomiques sont aujourd'hui très orientées à ce sujet-là, est-ce qu'aujourd'hui vous avez une prise de conscience sur l'aspect plus agronomique de la qualité des sols, qui pourrait orienter le plan masse du projet ? Est-ce que vous seriez intéressé pour que ces analyses de pollution soient couplées avec des analyses agronomiques plus orientées fertilité du sol par exemple ?**

De ce que je sais, de ce que je vois aujourd'hui, obliger un aménageur ou un promoteur a intégrer à ses analyses de pollution une analyse agronomique, ce n'est pas évident. Car je pense qu'il n'y voit pas d'intérêt. Le seul intérêt à la pollution c'est qu'il y a une obligation de dépollution derrière. Donc il y a… comment dire… Si la collectivité, le MOA… Disons que je ne vois pas comment les obliger à ça. Je ne sais pas comment les obliger, leur faire comprendre et faire en sorte qu'ils jouent le jeu là-dessus. Car je pense que la notion de services rendus par le sol n'est pas évidente encore en construction. Pour eux, c'est un bouleversement très fort des mentalités. Et il ne faut pas oublier qu'on est quand même sur un secteur qui fonctionne avant tout à la marge, à l'économie. Il faudra leur faire comprendre que si on veut ces analyses

c'est pour une meilleure durabilité de la construction et du projet. Et que derrière durabilité c'est la notion économique : ça leur coutera moins cher. C'est ça qui les intéresse. Après bien sûr il y a des sensibilités différentes, mais la grande tendance c'est l'aspect financier. Et autant nous en tant qu'agents des collectivités, élus, on a la notion d'intérêt général défendre donc la notion de services rendus par la terre, la biodiversité, etc. on peut l'intégrer au discours. Mais pour aller contraindre et obliger à faire des analyses plus couteuses, il faut derrière qu'ils arrivent à en retirer une espèce de produit marketing : le dire dans nos annonces de vente, un peu comme les Eco-Quartiers quoi. Ce serait bien que l'intégration du sol soit du bon sens, mais je pense que l'on sera obligé de passer par là…

19. **Je développe un outil qui vous aiderait, vous acteurs de l'aménagement, à appréhender peut être plus facilement cette question de prise en compte de la qualité agronomique des sols en amont des réflexions sur un projet d'aménagement. Est-ce que vous pensez que rajouter un outil, avec toute la réglementation qui existe déjà, ça ne contraint pas… enfin ça n'encourage pas l'acteur à l'utiliser ? Est-ce que vous pensez donc que cet outil soit utile ? Doit-il être tout nouveau ? Ou intégrer à des outils déjà existants ?**

Evidemment, à partir du moment où on met des contraintes c'est plus compliqué. La charte qualité environnementale par exemple de la ZAC de Sainte Marthe, il y a dix défis, à l'intérieur de chaque défi, des sous défis ! Les promoteurs nous disent à chaque fois, l'aménageur se bat, que c'est trop compliqué et qu'ils n'y arrivent pas, qu'on leur impose des contraintes à chaque fois de plus en plus nombreuses, et que donc ils n'arrivent pas à vendre derrière. Donc c'est mieux si c'est déjà intégré à quelque chose qui existe. Mais tout le monde n'a pas une charte qualité environnementale ou une charte quartier. C'est peut être mieux si c'est intégré à un document d'urbanisme qui a des contraintes un peu fortes aussi, enfin qui s'imposent. Après, en fait il faudrait les deux. Parce que si c'est un outil en tant que tel, quelqu'un qui par exemple n'aurait pas de charte qualité environnementale ou quartier, donc à côté d'autres contraintes, pourrait s'il le désire, ou s'il en a besoin, ou parce que c'est la collectivité qui le demande, l'utiliser en tant que tel, comme base. Donc il faudrait les deux : un outil seul, mais aussi que certaines données soient nécessairement intégrées à des chartes plus larges. Par exemple, je pense à des petites communes, où il n'y a pas les services techniques ou les compétences humaines pour s'atteler à développer une charte globale. Par exemple, notamment en France, ce serait bien que ça s'applique aux zones d'activités. Parce qu'on a quand même un gros souci de consommation d'espaces agricoles et autres par les zones d'activité. Car toutes les communes veulent leur zone d'activité. Et ça consomme un espace fou et en zone d'activités il n'y a pas de charte qualité. Et un outil comme ça qui pourrait être développé et pris en tant que tel auprès d'acteurs pas suffisamment armés pour avoir un truc plus global ça serait vachement intéressant. Cela permettrait aussi de sensibiliser les élus.

20. **Sur cette question de considération de la qualité agronomique des sols en construction, est-ce que vous vous avez à votre connaissance des acteurs, des bureaux d'études, qui soient compétents sur ce sujet ? Est-ce que ce serait un besoin ?**

Non… Les personnes qui font des études d'impacts se sont des écologues. Donc ils sont faune-flore, donc très surface. Les seules personnes avec qui j'ai pu échanger et qui m'ont un peu sensibilisé au sol, c'est les hydrauliciens, car ils sont obligés, mais c'est sur le service qu'il rend en non imperméabilisation ou en rétention, ce n'est pas sur la qualité globale du sol. Ensuite ce sont les acteurs de la chambre d'agriculture, notamment dans la région Rhône-Alpes des associations qui travaillent sur le développement de projets agricoles et qui là emploient des agronomes… Mais toujours agronomes du milieu rural. En urbain, j'en ai jamais rencontré.

21. **Et si un BET se développe sur cet aspect-là pensez-vous qu'il trouve preneur très vite ? Ou qu'il y aurait encore un blocage de la part des acteurs, psychologique ou même financier ?**

En fait, j'aurai du mal à vous répondre. Car comme je suis ultra-sensibilisée à ça… bref ! Mais j'ai envie de vous dire oui ! Qu'un BET agronome-urbain serait nécessairement appelé sur des gros projets d'aménagement et pourrait développer toutes ses compétences là-dessus, et en même temps je n'ai pas l'impression de voir ça. Si la notion de sol dans la planification arrive, on va en avoir besoin. Et je pense que l'on n'en est pas loin. Le service planification urbaine et nous on est allé rencontrer l'ADEME et des universitaires. Et donc apparemment depuis 2006, le Ministère de l'Ecologie et l'ADEME demandent à des chercheurs d'universités en France de travailler dans les sols pour les prendre en compte dans la planification. Et donc au niveau national, il y a quand même une sensibilité depuis 10 ans. Et tout à coup

on se rend compte maintenant ! Il va y avoir une évolution sociétale là-dessus, on ne peut pas continuer à consommer de l'espace comme ça, n'importe comment et à vitesse grand V, sans se dire, enfin d'autant plus s'il y a de moins en moins de sol. Il y a quand même des prises de conscience du rapport du sol et de la plante : toute plante ne pousse pas sur n'importe quel sol. On ne peut pas faire n'importe quoi sur un sol calcaire, il n'a pas les mêmes fonctions qu'un autre. Donc, je pense qu'on ne pourra pas faire autrement dans l'aménagement que l'utiliser. Et donc sans doute qu'un BET tel que vous le décrivez sera nécessaire. Parce qu'en plus avant de vulgariser il faut savoir de quoi on parle !

22. **Quels seraient pour vous les principaux services rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Je dirai en premier sa fonction nourricière, sa possibilité de faire du jardin. Le deuxième c'est l'intérêt de captation du CO_2 pour le changement climatique. Ensuite, une fonction de beauté, d'esthétique du lieu, donc la dimension paysagère.

23. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Régulation de la qualité de l'air : 3
Régulation du climat : 3
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 3
Purification de l'eau : 2
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 2
Ressource ornementale : 3
Energie : 4
Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

Entretien avec Aménageur – site NM – LJ (21.01.18)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

La matière première sur laquelle on travaille c'est celle du sol. Sans le foncier, on n'intervient pas. Même quand on est dans des projets de réhabilitation urbaine, c'est à partir d'un sol, et celui-ci, selon la définition du projet, il peut être très différent. Si on est dans un milieu déjà urbanisé, on ne va pas investiguer le sol de la même façon que si c'est une extension urbaine. En tout cas on aura moins d'appréhension en général, si on doit aménager une zone en extension urbaine, et d'ailleurs à tort. A priori on se dit que c'est plus facile. Alors oui, le sol c'est notre support quand on aménage. Donc on est obligé, d'ailleurs ça fait partie de nos études que l'on fait en amont, les études préalables, c'est de bien connaitre le sol sur lequel on fait construire. Déjà pour savoir ce que l'on peut faire construire, en termes de qualité du sol, est-ce qu'il est meuble, est-ce qu'il y a des roches affleurantes, est-ce qu'il y a de l'eau affleurante, car en plus tout ça, ça peut avoir un impact économique assez fort. Il y a l'histoire de la pollution aussi, qui est essentielle de diagnostiquer assez tôt, car sinon ça peut remettre en question toute la fiabilité d'un projet. Donc c'est vraiment avant même de démarrer une étude, ça fait partie du lot des études préalables, et des connaissances qu'on doit avoir sur le sol. Et d'ailleurs qui sont des études réglementaires, on est obligé de les faire, on fait des études pédologiques, des sondages hydrologiques, des investigations faunes-flores.

2. **Quand vous dites études pédologiques, que regardez-vous ? Les caractéristiques géotechniques ? La pollution ?**

Alors, il y a celles-ci, mais comme les bâtiments ne sont pas encore construits… et puis ce sont des études préalables donc souvent on n'a pas commencé à travailler avec un urbaniste qui a dessiné son plan masse, son projet. J'ai l'exemple d'un projet où j'ai trouvé qu'il y avait de la roche affleurante et une nappe phréatique à proximité. Et donc pour savoir comment on pouvait construire, on a commencé à faire des sondages hydrogéologiques, avec un relevé sur une année pour savoir comment évoluait la nappe. Après

des fois c'est la même chose sur la roche, de faire un sondage assez profond pour voir les matériaux de la roche et savoir si ça sera assez solide pour les fondations.

3. Que voulez-vous dire en parlant de matériaux de la roche ? Si c'est meuble ? Argileux ?

Oui, c'est ce qui nécessite notamment des fondations spéciales, si la roche est très profonde, ou s'il n'y a pas de roche du tout. Donc ça c'est le côté caractérisation du sol. Après, tout le volet pollution est hyper important, car on réalise des quartiers aves des espaces publics, de plus en plus des espaces végétalisés où il y a un accès à la terre, que ce soit des espaces de jeux ou des jardins partagés. On doit s'assurer d'avoir un terrain sain, ou le savoir si ce n'est pas le cas pour pouvoir le traiter en conséquence.

4. Quelles sont les études préalables dont vous prenez connaissance en arrivant sur un site de projet ?

Alors, au démarrage des projets on fait une étude d'impact, et donc des investigations faunes-flores se font pendant une année. Ce sont des écologues qui la réalisent.

5. Avez-vous déjà pu voir des agronomes ou pédologues intervenir pour faire des études agronomiques lors de ces phases amont ?

Pas des agronomes, car on n'a pas de sujets où on a travaillé sur une notion d'agriculture en particulier. On les ferait intervenir je pense dans des études préalables, mais après cette étude d'impact obligatoire. Donc nous on n'en a jamais fait travailler. Mais si c'est un projet avec un objectif particulier, avec une notion d'intégration d'agriculture, on aurait à faire à un spécialiste pour qualifier le sol. Notamment, on le voit de plus en plus, il y a cette notion d'agriculture urbaine, de fermes urbaines, cette notion d'usages de la terre en tant que terre nourricière, de fertilité de la terre. Donc on s'intéresserait au sujet et cette compétence nous intéresserait.

6. Justement, avez-vous en tête une pareille structure qui a la compétence de venir étudier sur site la qualité agronomique d'un sol ?

Je ne sais pas, comme ça non. Je connais pas mal d'associations qui travaillent… mais c'est plutôt sur le volet animation, concertation, sur les ilots de biodiversité, mais plutôt pour l'information, l'animation. En fait aussi il y a des boites de paysagistes spécialisés dans les jardins partagés où forcément il y a cette compétence en interne.

7. En général, les projets d'aménagement urbains réclament-ils une certaine pluridisciplinarité ? Est-ce que les appels d'offre réclament des compétences élargies ?

Oui, complètement. Avant on faisait appel à un urbaniste, un BET VRD et un paysagiste. Et maintenant on fait des consultations où on retient des équipes de MOE, qui ont des compétences très larges. Ce qui nécessite aussi à ce trio de base de s'adjoindre à pleins de compétences complémentaires. Donc on se retrouve avec de grands groupements. D'ailleurs, lors de consultations, nous on donne des objectifs, et on les laisse d'adjoindre de compétences qu'ils jugent nécessaire. Donc des fois ce sont même eux qui nous proposent des boites spécialisées dans un domaine auquel on n'avait pas pensé. Par exemple sur un projet d'agriculture urbaine, ils pourraient dire que pour avoir une candidature plus percutante et compte tenu de nos objectifs, ce serait bien d'avoir cette compétence-là. S'il y a un volet pollution, ils vont s'adjoindre de compétences spécifiques aussi. Donc on se retrouve vraiment avec des groupements très larges. Ce qui nécessite un management assez nouveau. Soit c'est un mandataire qui a une vraie compétence de management… mais on est vraiment dans cette pluridisciplinarité. A part si c'est un micro projet…

8. Durant toute la réalisation du projet, accordez-vous de l'importance aux problématiques qui peuvent se poser en termes de gestion du sol sur site ? Comment les pratiquez-vous ?

Oui, ça commence à émerger. Ça a commencé pour des raisons purement économiques je pense au départ. Notamment avec la question, mais aussi avec l'évolution des réglementations, à la question de la pollution, où même quand on faisait de l'extension urbaine sur une friche maraichère, on ne se disait pas que, comme c'était un terrain où il n'y avait pas eu d'entreprises ou de déversement d'hydrocarbures, on ne se disait pas que ça pouvait être pollué. Mais on l'a senti sur site, on l'a vu. Alors que maintenant, sur des terrains agricoles, on sait que forcément il y a de l'arsenic et une dépollution à avoir.

9. Ces analyses sont obligatoires maintenant dans les projets ?

Oui, oui. Alors, ce qu'on est obligé de faire, c'est de vendre des terrains… Nous on achète des terrains et on les vend, donc pour les vendre on doit connaitre les sols. Après, on peut les vendre pollués, si c'est en accord avec l'opérateur car c'est lui qui se charge de les dépolluer, mais en tout cas on est sachant, donc on doit connaitre le sol.

10. Et donc encouragez-vous la réutilisation des terres sur site ?

Et bien ça on commence à le mettre en œuvre. Au départ c'était strictement économique, car ça coûte moins cher de confiner la terre polluée dans un espace et faire une bute, que de l'amener en décharge, et la faire traiter. C'est moins cher de la laisser sur sol. Après, d'un point de vue éthique, si c'est vraiment laisser la terre pour la dépolluer, les élus préfèrent parfois qu'elle soit complètement excavée, traitée, dépolluée, et que le site soit sain, vierge de toute pollution. Ça dépend des cas. Quand on n'a pas le choix, on essaie de trouver des solutions… Si ça représente un coût vraiment trop important… Et ça ce sont souvent des solutions que les paysagistes nous proposent en faisant des merlons avec un BET spécialisé… Donc il y a des systèmes de bâches qui permettent de vraiment confiner la terre…

11. Et à l'inverse, si vous percevez une terre de bonne qualité sur un site, est-ce que vous allez préférentiellement l'utiliser pour faire vos aménagements paysagers ?

Systématiquement, le paysagiste analyse, enfin défini, si le sol est suffisamment bon pour faire des aménagements paysagers, et puis si elle est fertile, on garde la terre sur place, et puis on la récupère au fur et à mesure des terrassements. Des fois même on peut l'amener sur d'autres sites à proximité. La Jaguère par exemple, comme ce sont d'anciens terrains maraichers, la terre est très pauvre, très sableuse, donc forcément on fait des apports.

12. Quand la terre est excavée savez-vous où elle part ? A l'inverse, avez-vous connaissance de la provenance de la terre végétale quand elle est apportée sur site ?

Alors oui, on devrait l'avoir. Moi comme ça je ne peux pas répondre, mais il y a des bordereaux d'envoi. Elle n'est pas polluée pour autant la terre. Il y a une zone qui était polluée et qui a donc été enlevée et dépolluée, mais juste la qualité agronomique, fertile de la terre n'est pas satisfaisante pour faire des plantations de qualité.

13. Et ça c'est clairement pour des aspects économiques ?

Oui c'est sûr de fait. Mais bon en fait c'est assez rare… Là par exemple, le paysagiste est assez exigeant et par exemple même pour une zone enherbée, il dit que la terre est vraiment trop mauvaise, et qu'il faut la décaisser sur au moins 20 cm et l'enrichir en apports, même pour une zone enherbée assez simple où l'herbe pousserait…

14. Avez-vous connaissance d'outils qui permettent de diagnostiquer la fertilité agronomique des sols ?

Non. Je ne saurai pas… Parce qu'on s'appuie, nous, sur l'historique des usages qu'il a pu y avoir sur ces sols. C'est la première analyse. Nous on le fait très tôt, pour avoir des petits points d'alerte, justement sur le volet pollution. Et puis ensuite on la complète dans les études d'aménagement, et là c'est le paysagiste qui le fait.

15. J'essaie de développer un OAD dans ma thèse à l'attention des aménageurs pur avoir une meilleure prise en compte du sol, mais du point de vue agronomique, dans les projets d'aménagement. Donc ça dépasse les aspects de pollution, on peut parler là de sols fertiles. Je voulais savoir si ça vous intéresse de coupler des analyses de pollution avec des analyses plus agronomiques ?

Ah oui, oui, c'est intéressant. Car on voit que cette notion de qualité du sol, agronomique, dans nos projet d'aménagement de quartier, on essaie de faire des espaces publics, même sur les projets privés, qui ne sont pas sur dalle mais en pleine terre, d'avoir de la terre de qualité, d'utiliser la terre sur place. C'est une sensibilité de plus en plus importante.

16. Quels sont les arguments qui vous poussent à réfléchir comme cela ?

Alors, un pour avoir un maintien des espèces, qu'elles soient pérennes. On plante rarement un arbre de plus de 10 ans, et il a besoin de place pour se développer. Il y a un budget de paysage dans toutes nos opérations qui est assez important. Donc ça, ça permet de s'assurer que les plantations vont tenir dans le temps. Ensuite il y a toute la notion de santé publique. Et puis la troisième, c'est tout ce qui est usage de la terre, avec cette notion de créer des suages attractifs, ludiques, et on doit avoir une terre de qualité si on veut des jardins.

17. Et lors des enquêtes publiques, s'il y a l'idée de faire un jardin familial, est-ce que les usagers se posent la question de la qualité de la terre végétale ?

Alors ça ne va pas être la première, je ne pense pas. Mais ça peut venir dans les questions. Car les personnes mobilisées pour les jardins potagers ont une sensibilité pour l'alimentation et donc la qualité des sols.

18. **Pensez-vous que cet outil doit être un nouvel outil ou préféreriez-vous qu'il soit intégré à un outil que vous utilisez déjà ? Lequel ? Parce que des personnes m'ont déjà répondu qu'il existait aujourd'hui trop de contraintes en aménagement, trop d'outils à prendre en compte, et que ça viendrait complexifier une fois de plus la manière de faire l'urbanisme aujourd'hui ?**

C'est un élément en plus qui viendrait aiguiller le plan masse, comme il y a des études sur le bruit, des études de vent, qui permettent de définir l'orientation des bâtiments. Donc si c'est une thématique qui est souhaitée être développée sur le projet alors oui ça peut, mais il faut vraiment que ce soit définit comme objectif dès le départ. Après, est-ce que les terres, leur qualité elle peut être déplacée ou pas ?! Après, dans la fiche de commande que l'on a des élus pour faire un quartier, initialement c'est quantitatif : on a tant d'écoles, de logements, de parkings, etc. C'est une liste, un programme. Et après le dessin vient après. Et on part du terrain, de ses contraintes. Donc ça c'est un élément, effectivement on ne pousse pas jusque-là… Mais oui on part du terrain, des éléments extérieurs avec les études de vent, de bruit, qui sont vus en amont. Et ensuite, en connaissance de cause on arbitre…

19. **Et ne pensez-vous pas qu'un tel outil soit encore une couche supplémentaire à rajouter dans les considérations obligatoires en aménagement ?**

ET bien oui c'est une réalité qu'il y a plein d'études. Et de toute façon il y en aura toujours plus. Après, ce n'est pas parce qu'il y a une connaissance supplémentaire, qu'on est obligé de tout prendre en compte. Il y a des compromis, des prises de décision, des arbitrages. Il faut le mettre en lien avec des objectifs. Par exemple sur Gohards, ils sont vraiment sur une notion de produire en ville, d'agriculture et de fermes urbaines. Donc là c'est vraiment un objectif, donc ce serait logique d'avoir une connaissance poussée jusque-là, pour essayer de positionner ces ilots de fertilité, comme ils les appellent, au meilleur endroit où il y a de la terre. Après si ça tombe justement dans la zone la plus intéressante pour construire, ou l'entrée de… bah là ça sera un arbitrage qui sera fait. C'est nous qui faisons cet arbitrage en phase projet, avec les BET, l'équipe de MOE. Mais voilà, il ne faut pas que ça devienne une obligation, ne pas passer par la contrainte, la réglementation. C'est ça qui est pesant : cette surenchère de réglementation et qui fait parfois perdre son sens au projet. Alors que quand ce sont des connaissances choisies dans un objectif, c'est toujours du bonus, et puis libre à nous de faire des arbitrages, avec les politiques, sans le politique, avec les paysagistes, l'équipe de MOE, etc.

20. **Justement, c'était ma question d'après, est-ce que vous pensez que les élus sont assez sensibles à cette problématique de qualité agronomique des sols ?**

Ils pourraient l'être. Sur c côté un peu santé publique. Ce serait le levier qui permettrait de les mobiliser un peu. Il y a déjà cette notion de pollution qui est hyper importante. Donc si on veut aller plus loin, ce serait presque la strate au-dessus : on a des terrains saints, mais si on veut aller plus loin et bien ça serait ça : on veut des terrains riches, fertiles, fonctionnels et on peut leur donner un usage. Par exemple le projet Gohards, c'est un bon exemple : il y a un choix politique qui a été fait à un moment donné, de réserver des surfaces pour pouvoir installer le paysan, il y a un système économique qui a été trouvé pour que ce soit rentable pour le paysan, pour que… ça soit optimiser au sol.

21. **Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Bah déjà le sol c'est, une fois le projet fait, l'équilibre entre ce qui est bâti et non bâti. Et ensuite, ce qui n'est pas bâti, c'est le sol investigué par la population du quartier, donc ce sont tous ces espaces de vides qui doivent être qualifiés pour leur donner un usage à l'échelle d'un quartier. Donc équilibre entre bâti et non bâti et qualifiés le non bâti.

22. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Régulation de la qualité de l'air : 3
Régulation du climat : 5
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 4
Habitat pour la biodiversité : 4

Biomasse : 4
Ressource ornementale : 5
Energie : 2
Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

Entretien avec MOE – site NM – LJ (29.01.18)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

MOE - 1 : Le sol, donc on a le sol actuel, et au départ c'est savoir… Souvent on arrive dans des champs, des espaces naturels. Donc sa connaissance… Donc son épaisseur, c'est celle de terre végétale, en général c'est ça qu'on valorise… Et après, en dessous, c'est de connaitre ses caractéristiques mécaniques, savoir s'il est suffisamment dur ou pas pour pouvoir assoir une chaussée, quelle est sa résistance, quelles sont ses problématiques vis-à-vis de l'eau : est-ce qu'il y en a beaucoup (est-ce qu'il faut drainer), est-ce que c'est trop argileux, donc pas assez stable ? Est-ce que c'est trop dur donc il va falloir utiliser un matériel spécifique pour le creuser et mettre des réseaux ? Donc c'est plutôt un aspect technique, résistance, et puis compacité pour faire tenir une chaussée.

MOE – 2 : A La Jaguère, ce qui est particulier, c'est que ce sont des anciennes terres maraichères, donc normalement de la bonne terre, et là pas de chance, ce n'est pas terrible. Alors d'après l'architecte-paysagiste, qui est toujours un connaisseur de terre, ce n'est vraiment pas bon, elle n'apporte rien.

MOE – 1 : Après, je pense que ce sont aussi des sols qui ont été tellement exploité pendant très longtemps, qu'ils ont été usés. Donc c'est des sols très amendés en sable, c'est un peu tout l'historique de Nantes et le maraichage autour de Nantes, et ce sont des sols qui ont été pompés jusqu'à la lie. Donc c'est un sol qui s'effrite totalement. Ce n'est pas du sable, mais presque. Donc ce qu'on va nous chercher, c'est un peu ça, ses caractéristiques mécaniques, géologiques. Et nous sur la profondeur, les réseaux on va les faire jusqu'à 2,5 mètres, en général. Après, on n'a pas à venir chatouiller en dessous. Donc ça va être le maximal. Et sa capacité à être travaillé ou extrait avec des engins mécaniques classiques ou des engins beaucoup plus durs.

2. **De manière générale en France, comment vous jugez aujourd'hui le rapport du chantier au sol dans le monde de la MOE ? Trouvez-vous que le sol y a une importance ? Est-ce qu'il doit en avoir une ?**

MOE – 1 : Une chose que je n'ai pas dite, effectivement… le sol, on voit dans l'économie d'un projet, avec les routes, les réseaux, etc. on le travaille beaucoup dans le sens où… Quand je fais une route, une épaisseur de chaussée ça fait à peu près 1 mètre, donc quand j'enlève des réseaux ça peut être assez profond… Donc sur un nouveau quartier, quand on fait des nouvelles voies, on va remuer beaucoup de terre. Donc la terre végétale on va pouvoir la stocker, enfin sauf La Jaguère car ça ne vaut pas le coup, il n'y a rien de bon, donc on va la stocker pour pouvoir la valoriser : si on ne la remet pas sur le site on va la remettre autre part, car il y aura toujours des gens intéressés par la terre végétale. Par contre, le sol en lui-même, classiquement, on enlève 1 mètre de sol et on le remplace par des épaisseurs de cailloux ou d'enrobés pour faire nos routes et nos aménagements. Et on se rend compte que c'est beaucoup de volume, car si vous enlevez 1 mètre de sol au mètre carré, ça fait beaucoup. Donc on brasse beaucoup de matériaux, il faut l'enlever, et trouver un endroit à le remettre, donc ça fait beaucoup de contraintes. Donc on est plutôt à développer e MOE et avec les entreprises, un renforcement, une réutilisation des sols en place. Ca dépend du contexte géologique du site. Et de plus en plus, on s'oriente vers un renforcement de sol, donc on renforce le sol en mettant de la chaux pour renforcer l'humidité, soit du ciment, ou des espèces de liants type ciment pour pouvoir lui donner de la résistance. Et ça permet, avec ce qu'on va injecter dans le sol, ça va nous permettre de lui redonner de la consistance et de diminuer de moitié nos épaisseurs de chaussées. Donc gagner en extraction, en apport, en gêne avec des camions qui font l'aller et venu. Sachant qu'aussi, économiquement, les décharges, car on a obligation de mettre les matériaux en décharges contrôlées, avec une traçabilité importante… et ces décharges contrôlées coûtent assez vite de l'argent au mètre cube. Donc

c'est et une solution économique pour tout le monde, et une solution environnementale pour éviter des gênes, et trouver des lieux d'extraction qui sont de plus en plus difficiles.

3. **Durant toute la réalisation du projet, accordez-vous de l'importance aux problématiques qui peuvent se poser en termes de gestion du sol sur site ? Comment les pratiquez-vous ?**

MOE – 1 : Ah oui, il y a des chartes sur Nantes Métropole, qui dit que tout aménagement sur Nantes Métropole, ne doit pas avoir d'extraction vers l'extérieur. Ça veut dire que tout ce qui est dans mon territoire à terrasser, je dois retrouver dans mon territoire un lieu pour le réutiliser. Des fois on le réutilise aussi en faisant des merlons, de protection, acoustiques, etc. ou en faisant des aménagements paysagers. Moins on promène ces mètres cubes et ces volumes, plus c'est économique et plus ça va aller vite. Et donc dans nos premières parties d'étude, on va missionner un BET géotechnique où on va mesurer les caractéristiques physiques et géotechniques du sol et demander des essais de laboratoire pour vérifier leurs aptitudes au réemploi en chaussées.

4. **Quels sont les critères qui vous permettent de juger de la nécessité de l'apport de terre végétale sur un site ? Qui décide de la source d'approvisionnement ? Y a-t-il une analyse agronomique de cette terre avant son transfert ? Par qui ? Trouvez-vous cela nécessaire ?**

MOE – 1 : Sur la terre végétale, dans la MOE, c'est plutôt l'intervenant paysagiste, qui lui, en même temps qu'on fait des essais géotechniques, demande des caractérisations du sol… donc le pH, enfin la qualité agronomique, pour réfléchir au réemploi, et en fonction de cela, si la terre végétale peut être réutilisée, il peut l'amender d'une certaine façon. Ou alors, il va demander de la terre végétale qui viendra d'autres sites, avec des caractéristiques, et lui il fera des prélèvements sur ces sols-là. Mais c'est vrai que c'est plus le paysagiste qui fait ça.

MOE – 2 : Souvent aussi c'est de l'opportunité : si l'entreprise de terrassement a un chantier à côté avec tant de mètres cubes disponibles, on va essayer d'aller piocher là-dedans.

5. **Quels sont les critères qui vous permettent d'apprécier de la nécessité d'excaver des sols sur site de chantier ? Où va ce sol ? Qui décide de sa destination ? Y a-t-il une analyse agronomique de ce sol avant son transfert ? Par qui ? Trouvez-vous cela nécessaire ?**

MOE – 1 : Tout ce qui est évacué, donc effectivement c'est les entreprises qui évacuent soit la terre soit les déblais, effectivement, elles doivent nous dire où cela doit aller. Il y a une traçabilité. Pendant très longtemps ce n'était pas très contrôlé. Maintenant il y a une traçabilité pour savoir où vont aller ces matériaux-là, de manière à s'assurer qu'ils ne vont pas en pleine campagne, remblayer des terrains qui ne sont pas autorisés, etc. Donc il y a un contrôle.

6. **Après, est-ce que cela ne s'explique pas par le contexte plus ou moins tendu de la disponibilité de la terre végétale ? Comme ça peut être le cas par exemple à Lyon, où le climat est très tendu sur cette thématique ?**

MOE – 1 : Je n'ai pas l'impression que dans les aménagements de Nantes Métropole on manque de terre végétale. Généralement, les entreprises en trouvent de façon assez simple et proche. Je n'ai pas l'impression qu'il y ait une pénurie là-dessus.

7. **Et pensez-vous que cette sensibilisation à a réutilisation des terres sur site dépend du contexte géologique, du site, de l'intervenant, de la Métropole ?**

MOE – 1 : Je crois que depuis un certain temps, on est tous un peu… tout le monde a cette sensibilité de dire je réutilise, j'essaie d'optimiser un peu la ressource, car je pense que l'extraction et les lieux de décharge coûte plus cher. C'est économique et prise en compte environnementale.

8. **En général, les projets d'aménagement urbains réclament-ils une certaine pluridisciplinarité ? Est-ce que les appels d'offre réclament des compétences élargies ?**

MOE – 2 : oui, car on est quand même plus tout jeune tous les deux. Moi quand j'ai démarré il n'y avait vraiment qu'un BET qui gérait tout, tout seul : les plantes, etc. Et maintenant, les fameuses équipes pluridisciplinaires, il y a forcément un architecte-urbaniste, un paysagiste, il peut y avoir des acousticiens, des agronomes, il y a tout un tas de trucs suivant la problématique de la ZAC. On a tous quelque part un côté « écolo », tout est assez lié.

MOE – 1 : Un des avantages aussi chez SCE, c'est qu'on partage les locaux avec des urbanistes, des paysagistes, des environnementalistes qui eux viennent souvent en amont sur les aménagements, pour dire le terrain sur lequel on va s'insérer a des qualités paysagères, techniques, faunes, flores, etc. Donc ils

vont faire 1 passage tous les mois pendant 6 mois, pour voir les espèces qui sont différentes en fonction… pour vérifier… en complémentarité, pour voir les atouts du site et en tenir compte pour les aménager.

9. **Quelles sont les études préalables que vous consultez dans la phase amont du projet d'aménagement ?**

MOE – 1 : L'idée c'est un peu ça… eux font des études d'impact, ils sont liés par des dossiers réglementaires, et ces études vont mesurer l'état initial : le terrain a ça comme qualité, comme défaut, et après ils vont mesurer l'impact du projet sur l'état initial : faune, flore, eau, circulation, riverains, etc. Et l'idée effectivement c'est que même si c'est un dossier réglementaire qui donne le droit de construire, il faut qu'il reste quelque chose, qu'on ne l'oublie pas. Donc on essaie, mais je pense qu'on peut encore progresser, on essaie de conserver la mémoire du lieu. Sur une autre ZAC avec LOD, on a des environnementalistes qui viennent poursuivre leur travail et qui viennent également faire un peu de la pédagogie auprès des entreprises, pour dire attention, là c'est une zone sensible vis-à-vis de l'hydrologie, donc attention à la circulation d'engins, aux rejets à filtrer avant, etc. Donc il y a encore du travail à faire, mais ça avance. Que l'environnementaliste ne soit pas que le poil à gratter de celui qui va aménager, et vice-versa. Et puis après on fait face aussi à des services de l'Etat, des collectivités ou la DREAL, qui vont maintenir la pression sur les aménageurs pour que ça se passe comme ce qui avait été prévu au départ.

10. **Est-ce que vous avez déjà travaillé avec des agronomes ou des pédologues ? Pourquoi ? Sur quels projets ? A quelle phase sont-ils intervenus ? Si des analyses agronomiques de sol sont réalisées, vous les prenez en compte ? Cela vous est-il déjà arrivé ? Sont-elles facilement compréhensibles ? Quels paramètres vous intéressent le plus ? A quelle phase du projet trouvez-vous qu'elles ont de l'importance ?**

MOE – 1 : Moi j'en ai vu dans les dossiers, parce qu'il y en a, mais j'en n'ai pas fait une énorme attention. Je suis plutôt allé voir les gens pour qu'ils nous expliquent un peu. Mais pour l'instant non, pas énormément.

11. **J'essaie de développer un OAD dans ma thèse à l'attention des aménageurs pur avoir une meilleure prise en compte du sol, mais du point de vue agronomique, dans les projets d'aménagement. Donc ça dépasse les aspects de pollution, on peut parler là de sols fertiles. Je voulais savoir si ça vous intéresse de coupler des analyses de pollution avec des analyses plus agronomiques ?**

MOE – 1 : On voit généralement, donc avant un aménagement, ce qu'on appelle les prérequis. Donc effectivement, on va faire une analyse environnementale faune-flore, géotechnique, déplacement, paysagère, etc. Donc si on a une analyse agronomique, ça me semble pertinent pour délivrer un message et établir une cartographie. Alors peut être une cartographie comme on voit chez les environnementalistes : donc oui trouver une cartographie qui reflète la qualité agronomique des sols, aves des couleurs, des points à mettre. Mais oui, ça me semble pertinent. Mais donc il faut s'assurer que ce soit fait très en amont. C'est comme tout, si ça vient un peu tard, qu'est-ce qu'on met en haut de l'échelle de notation : est-ce que c'est plutôt la liaison viaire, le paysage, le sol ? Donc il vaut mieux que tout arrive en même temps, et puis ensuite ce sont des compromis. Mais ça me semble pertinent d'avoir un reflet sur des choses qui sont, enfin dont on n'est pas capable de connaitre, sans analyses de laboratoire. C'est un plus de donner ces résultats, avant un aménagement. C'est vrai que quand on intervient sur un foncier, il a une histoire, les urbanistes regardent le cadastre, pour voir quel était le parcellaire, pourquoi il a été fait comme ça, etc. Le terrain a forcément une histoire, les haies ne sont pas n'importe où. Donc je pense que ça fait partie de l'histoire de terrain. Donc pour que ce terrain soit transformé, que sa vie évolue, je pense que oui, c'est intéressant.

12. **Justement, avez-vous en tête une pareille structure qui a la compétence de venir étudier sur site la qualité agronomique d'un sol ?**

MOE – 1 : Non. Alors c'est peut-être plus les paysagistes qui voient ça. Mais personnellement, je n'en n'ai pas connaissance.

13. **Pensez-vous que cet outil doit être un nouvel outil ou préféreriez-vous qu'il soit intégré à un outil que vous utilisez déjà ? Lequel ? Parce que des personnes m'ont déjà répondu qu'il existait aujourd'hui trop de contraintes en aménagement, trop d'outils à prendre en compte, et que ça viendrait complexifier une fois de plus la manière de faire l'urbanisme aujourd'hui ?**

MOE – 1 : C'est vrai que l'échelle des ZAC… alors je ne sais pas si c'est le mal français… mais c'est vrai que l'on voit que ça prend… c'est souvent très long, car effectivement il y a beaucoup d'analyses à faire, et puis

parce qu'on s'insère dans une population locale qui est tranquille, qui voit des vaches et des oiseaux, et qui va avoir du mal à percevoir qu'il y ait un nouveau quartier. Donc c'est une analyse qui sera en plus, oui, mais c'est plutôt, la politique qui fait qu'on a des délais trop courts, qui sont un peu longs, et qu'on agrandit cette prise de décision entre le politique et les riverains. Mais c'est plus une réforme globale de l'aménagement qui ferait que ce soit sûr que ça avance de manière plus cohérente.

14. **Justement, c'était ma question d'après, est-ce que vous pensez que les élus sont assez sensibles à cette problématique de qualité agronomique des sols ?**

MOE – 2 : moi je pense qu'ils n'y pensent pas. Ce qu'ils voient à termes c'est qu'il va y avoir 300 logements, 600 habitants, donc voilà. C'est assez basique. Le sol… ppf ! Ce n'est pas ça le plus important.

MOE – 1 : C'est assez difficile de parler pour eux, mais je pense qu'ils n'y pensent pas quoi. Déjà les élus il y a une durée de mandat, donc c'est autre chose aussi. Lui il va dire, voilà j'ai un quartier à construire, et après qu'est-ce que ça va donner de faire des équipements publics, des salles de sport, des écoles, etc. C'est plus globalement dans l'aménagement de la ville. Donc ce point-là, bon advienne que pourra, mais ce n'est pas le plus important.

15. **Quand j'essaie d'expliquer les plus-values de l'utilisation d'un OAD tel que DESTISOL, certaines personnes ne comprennent pas vraiment. J'ai du mal à trouver des arguments, des exemples concrets qui viendraient étayer mes propos et convaincre les acteurs. En auriez-vous à me proposer ?**

MOE – 1 : Alors moi je trouve que dans les nouveaux quartiers, souvent ce que l'on voit, c'est plutôt la politique de la ville dans le sens du lien social. Alors le projet Gohards par exemple qui est un grand projet à l'Est de Nantes, il y a toute une proposition de retrouver 5 fermes en agriculture urbaine. Ce sont des anciens terrains maraichers, il y a une culture maraichère dans ce quartier, il y a beaucoup de vestiges, de réservoirs qui marquent ce côté-là. Donc il y a aussi se rappeler de ce passé et donc comment je vais remettre ça sur ces terrains-là ? Donc là ça me parait super intéressant, pour savoir si ce que je veux retrouver, c'est plus facile de le faire à cet endroit-là car il y a un bassin versant plus intéressant d'un point de vue agronomie ? Après, c'est un état des lieux de plus, effectivement, si j'empile les cartes du terrain… Après, ce qu'on voit dans nos chantiers, à La Jaguère ou autre, le chantier est quand même destructeur du sol. A part La Jaguère avec les bassins où les engins ne tournent pas. Mais globalement, près des chantiers, ce n'est pas beau à voir. Donc il faut sanctuariser des espaces pour pas les saccager : on met des clôtures, etc.

MOE – 2 : si la ZAC est vouée à faire de l'agricole, je pense que c'est dès le départ qu'il faut le savoir, pas au fur et à mesure.

16. **Pensez-vous que si un projet de construction d'immeubles est prévu sur un sol de très riche qualité agronomique, il pourrait y avoir une remise en question du projet ? Pour par exemple réfléchir au développement d'agriculture urbaine ?**

MOE – 1 : Là c'est plus le politique qui va être soumis à ces questions-là. Je pense que néanmoins, maintenant il y a quand même une réflexion menée à ce niveau-là. Alors est-ce pour dire j'abandonne les 10 hectares pour en faire des jardins ? Je ne pense pas. Mais il y a sans doute un compromis de dire j'en fais pas 300 mais 250, ou je travaille les formes urbaines pour densifier à un endroit et laisser plus de place ailleurs. J'ai plus l'impression que c'est à cette échelle-là que le compromis peut être trouvé. Dans l'emprise de projet, ma commande reste la même, mais le dessin peut être fait autrement.

MOE – 2 : mais ça c'est plus valable dans les grandes villes, comme Nantes par exemple. Vous allez à la campagne, ils vont vous demander ce que vous êtes en train de faire. La réflexion ne sera pas la même.

17. **Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

MOE – 1 : Ah, ah ! Un des points dans les aménagements, c'est comment le sol peut être éponge de manière à éviter de concentrer les eaux, faire des bassins, etc. Arriver à avoir un équilibre entre l'eau qu'on collecte et celle qu'on rejette. Et aussi, son pouvoir de dépollution. On voit bien que la dépollution, les sols en sont… enfin ils rendent ce service, sans avoir de séparateur hydrocarbures, etc. Après, je n'ai pas assez de connaissances sur l'agronomie pour en dire plus.

MOE – 2 : sur Guérande, j'avais un aménagement de je ne sais combien d'hectares, où tous les terrains pas encore construits sont laissés à l'agriculture, avec des agriculteurs qui sèment, il n'y a pas de bêtes. Et là il y a un projet d'une femme qui a acheté un terrain et qui veut faire du circuit-court. L'aménageur va lui mettre à disposition un terrain. Donc le côté agricole prend de plus en plus d'importance aussi je pense.

18. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

MOE – 1 :
Régulation de la qualité de l'air : 3
Régulation du climat : 3
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 4
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 1
Ressource ornementale : 4
Energie : 2
Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

MOE – 2 :
Régulation de la qualité de l'air : 3
Régulation du climat : 3
Régulation des aléas naturels : 4
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 4
Habitat pour la biodiversité : 4
Biomasse : 3
Ressource ornementale : 5
Energie : 2
Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

Entretien avec Chef de chantier – site NM – LJ (30.01.18)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Le sol, comme moi je l'entends et par rapport à notre profession, c'est le terrain naturel, c'est le terrain sur lequel on arrive sur un chantier, qu'on découvre. Ce qu'on appelle le bon sol en tout cas, voilà, la première nature du terrain c'est les différentes couches géologiques, de terre végétale, de matériaux sableux, limoneux, rocheux. Voilà comment nous on décrit le sol dans notre métier de terrassier VRD.

2. **Justement, comment jugez-vous de la qualité d'une bonne terre ? Avez-vous des indicateurs qui vous permettent de prendre votre décision ?**

Visuel à travers des sondages. C'est-à-dire que quand on arrive sur un terrain, on a l'expérience qui fait qu'on a toujours fait un chantier pas très loin, donc on sait si on va tomber sur des terres marécageuses, sur des terrains plutôt rocheux ou sablonneux. Il y a cette expérience-là. Après, c'est à travers les sondages descriptifs, on arrive rapidement à déterminer si on est sur un sol stable, ou médiocre.

3. **Quels sont les indicateurs que vous regardez lors de vos sondages ?**

Il y a des indicateurs visuels, c'est vrai que quand on arrive il y a la présence ou non d'eau sur le terrain, on sait si on arrive sur des terrains humides s'il y a de l'eau, ou si on arrive sur des terrains avec de l'herbe de moindre qualité on saura qu'on est sur des terres plus pauvres. Ensuite, après, une fois qu'on terrasse, c'est à la dureté du sol, le premier indicateur c'est la dureté, la compacité du terrain naturel, ensuite la présence ou non d'argiles, et puis ensuite comment le terrain se tient en lui-même : est-ce qu'il est friable

ou plutôt compact ? C'est vrai que nous on a tendance à aimer plutôt les terrains compacts, par rapport aux terrains friables qui vont être plus facilement sensibles à l'eau. Et puis la présence d'argiles.

4. **Dans vos chantiers, êtes-vous attentifs à la gestion du sol sur site ? Pour essayer d'en excaver le moins possible, ou du moins de réutiliser les terres excavées sur site pour limiter les apports ?**

Surtout depuis quelques années, avec les marchés qui se sont tendus et puis les prix qui se sont tendus. C'est vrai qu'il y a encore 15-20 ans on nous demandait de terrasser sur 50 centimètres, d'excaver, de tout évacuer en décharge, et de mettre des cailloux sur 50 centimètres. On ne cherchait pas à comprendre. C'est vrai que depuis une dizaine d'années, on cherche de plus en plus à optimiser nos structures de matériaux. Si le terrain est porteur on optimise nos structures de terrassement. Et puis s'il y a possibilité de réutiliser les matériaux en déblais-remblais c'est vrai qu'on le fait énormément. On le fait à travers des sous-sols, c'est vrai qu'on a une côté définie, et quand on excave les matériaux rocheux on essaie de les réutiliser sur d'autres chantiers à proximité, on optimise beaucoup. Et puis nous on fait aussi beaucoup en interne des traitements de sol à la chaux ou chaux-ciment. Ce sont des sujets qu'on regarde avec attention oui.

5. **Quand les terres sont excavées y a-t-il un regard de leur qualité ? Est-ce que vous savez où elles partent ? Qui décident de où va cette terre ? Et comment la décision est prise ? Est-ce que si les sols sont pollués vous avez une politique de les dépolluer sur site ?**

A partir du moment où on commence à terrasser, oui on a pris la décision de savoir où est-ce qu'elle allait. Aujourd'hui chez Mabileau, 70% de nos terres excavées vont dans du remblaiement de parcelles chez des agriculteurs, et 30% qui vont directement en centre d'enfouissement.

6. **Et quand les terres sont amenées, est-ce qu'il y a une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ? Et de leur provenance ? Et avez-vous une réévaluation de cette terre lorsqu'elle arrive sur site ?**

Non, non clairement. Ça peut arriver. Quand on remet de la terre végétale, c'est vrai que soit on a la terre végétale du site donc on la décape et on la stocke sur place ou sur un autre dépôt pour la ramener plus tard. Quand on travaille avec des paysagistes, eux ils sont un peu plus rigoureux, et un peu plus… il existe parfois des terres végétales de qualité, qui n'existent pas forcément sur les terrains qu'on traite. En général, quand on a notre marché de décapage et au sujet de la mise en œuvre de la terre végétale, on essaie de faire avec la terre du site. On évite de brasser.

7. **Est-ce qu'il est déjà arrivé que vous voyiez des agronomes ou pédologues intervenir sur des chantiers, comme nous l'avons fait ce matin ?**

On n'a pas eu l'occasion d'avoir des marchés de ce type-là, avec l'intervention de personnes extérieures. Après, la contrainte est devenue très, très forte. Surtout que nous on n'a pas de carrière ni de lieu de stockage des terres, donc on essaie au maximum entre nos différents chantiers de réutiliser les matériaux. On regarde en interne. C'est pour ça aussi qu'on a développé depuis 5 ans le traitement des matériaux en place. Donc ce sont des sujets que l'on regarde, mais on ne peut pas dire que dans notre métier, enfin dans les marchés publics, il n'y a pas de réelle volonté des décideurs ou en tout cas de nos clients d'optimiser cette gestion des déblais et de la terre naturelle. C'est à la libre appréciation de l'entreprise, il y a celle qui se donne les moyens de regarder et celle qui ne va pas faire l'effort de le faire.

Entretien avec MOA – site NM – LB (31.01.18)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Une définition du sol ? Alors une limite en profondeur ? Ça c'est intéressant, parce que moi, effectivement, quand je parle de sol, je parle surtout de la surface, et de la profondeur que sur un aspect limité lié au sous-sol et à la capacité de construire, et donc la présence de réseaux le cas échéant. Mais là où on est en train de changer nos pratiques, c'est qu'on imagine aussi dans le cadre de ce projet de renouvellement, de rendre à sa culture un certain type d'espaces. Donc le sol nous amène aussi aux questions de pollution, de cultivabilité, de fertilité. On est dans des anciens secteurs de Landes, donc des sols assez pauvres. Pour les arbres d'alignement et les fosses de plantation aussi la qualité des sols joue beaucoup. On est sur des anciennes terres de Lande, assez pauvres. Donc aujourd'hui j'élargis le champ. D'autant que dans le cadre

du projet on imagine une remise en culture. On a déjà eu dans un premier projet de renouvellement urbain des questions de pollution de sol lié à des déblai-remblais et la présence naturelle d'Arsenic aussi.

2. **Et pour tous ces aspects de pollution des sols, vous faites appel à des BET spécialisés sur ces domaines-là ?**

Alors oui, quand la question se pose. Alors c'est surtout le cas sur les jardins familiaux en fait. Mais aujourd'hui, dans ma réflexion, j'intègre… C'est pour ça que ça m'intéressait aussi votre travail, votre sujet qui me semble vraiment pertinent sur notre territoire, car on se pose beaucoup de questions sur la qualité des sols, en vue de création de nouvelles parcelles de jardins familiaux en cœur de quartier, de jardins partagés. Et on se demande aussi si on doit faire de la permaculture ou si on peut utiliser le sol en place tel qu'il est, ou est-ce qu'il faut le retravailler. On ne sait pas du tout aujourd'hui. Donc le sol, pour moi, est quelque chose qui a pris de l'épaisseur, de la dimension.

3. **Et en parallèle de ces études, est-ce qu'il vous est arrivé de faire faire des études plutôt orientées agronomie du sol, justement sur ces questions de jardins familiaux, avec une prise en compte de la fertilité ?**

Alors, aujourd'hui, non. Et justement, le premier exemple sur le quartier au nord, le long de l'autoroute, le projet a dégagé une absence constructibilité pour des jardins, donc on a poussé la logique en disant qu'on les mettait ailleurs. Et en fait ça a été raisonné en termes de disponibilités, et pas du tout de qualité des sols. Donc au vue de cet exemple, j'ai plutôt tendance à me dire « regardons précisément ce qu'il est possible de faire », et certainement dans les phases d'études à venir, il faudra qu'on intègre ces questions-là, notamment dans des problématiques d'agriculture péri-urbaine. Car pour le projet on a encore des terres, dont on est propriétaire, qui étaient en zones « A urbaniser » et qu'on rebascule en zones « Agricole ». Donc, l'idée c'est qu'à terme, toutes ces zones soient remises en culture, et on imaginait même dans le cadre du projet global, des liens avec l'intérieur du territoire pour avoir une véritable accroche. Donc on sait que sur ces projets-là, la réussite c'est d'avoir une véritable base économique viable, et ensuite on peut avoir des fermes pédagogiques, ou des liens au territoire. Mais ça nécessite dans un premier temps que les exploitants puissent vivre. Mais du coup, il faudra relancer une phase 2 d'études, mais du coup dans les études pré-opérationnelles, préalables à la création de ZAC, on a dégagé une ligne sur ces questions-là, dans lesquelles il faudra se poser la question de la qualité des sols. On a aussi des exemples à l'échelle du territoire, avec notamment le projet Doulon-Gohards. J'ai une collègue qui a remis des fermes en activité. Et donc la personne qui s'en est occupé à l'époque, qui maintenant a monté sa propre structure, Julien Blouin, a déjà un peu l'expérience. Nous aujourd'hui on ne résonne plus que simple bout de terrain accessible, on regarde aussi les conditions dans lesquelles on peut faire.

4. **Mais justement cette prise de conscience elle vient du fait de s'apercevoir que la ressource sol elle n'est pas si abondante que cela ?**

C'est surtout aussi la question de l'acceptabilité. Si vous faites un jardin, et que vous vous apercevez que c'est pollué à l'Arsenic… Il faut bien imaginer que la question des jardins familiaux… on vise aussi dans les quartiers prioritaires… ce n'est pas que les bobos du coin, c'est aussi permettre à tout le monde de cultiver, c'est aussi la notion de circuit court, de santé publique où on sait que dans ces quartiers c'est le règne de la mal bouffe. Et donc toutes ces notions-là, de santé, d'obésité… On sait que dans ces quartiers ça a un sens. Donc c'est améliorer leur qualité de vie au regard de l'alimentation. C'est une notion qui émerge partout. Donc du coup il faut être logique. Donc si on pousse jusqu'au bout, on ne va pas offrir des terrains pollués… Ce sont des questions qui émergent de plus en plus. On est sur des anciennes terres peu polluées à l'origine, ou avec une pollution naturelle à l'Arsenic, mais on est sur des quartiers construits, qui ont fait l'objet de remaniement de terre, etc.

5. **Justement si vous vous rendez compte de l'aspect pollué d'un sol à un endroit où vous vouliez faire des jardins partagés, vous allez…**

Permaculture ! On a des stations gourmandes, mais pas que. On a des systèmes de bacs… Le SEV est très précurseur sur ces questions, notamment pouvoir cultiver dans des zones très imperméabilisées. Aujourd'hui on se permet même de mettre en place des zones en permaculture même si on sait que ça ne sera pas pérenne, juste pour créer des habitudes. Donc même s'il s'avère que ce n'est pas adapté à la culture, et bien on trouvera une solution de repli, sans trop de difficulté.

6. **Quand un apport de terre végétale est nécessaire, vous avez connaissance de sa qualité ?**

Alors là je laisse faire les spécialistes. Mais ça peut tout à fait être mis dans un cahier des charges. Si c'est quelque chose qu'on a anticipé, et puis c'est vrai que votre présence ça nous permet aussi à nous d'augmenter notre acculturation sur ces questions, qui n'étaient pas trop posées, et bien on regardera ce que ça donne… Si on voit qu'il y a des recommandations, des prescriptions à adapter dans le cahier des charges.

7. Est-ce que ces questions de qualité des sols ressortent dans les débats avec les habitants ?

Alors, ils n'en sont pas là. Déjà pour eux, faire de la culture ça les motive beaucoup. Mais ce sont des territoires où les personnes ne sont pas du tout dans ce milieu-là. La particularité… on est sur un projet global de renouvellement urbain, en vue d'intervenir sur un quartier prioritaire politique de la ville, et on le contractualise sur un dossier ANRU. Toute la démarche a fait l'objet d'une concertation quotidienne avec les habitants : on a fait plus de 60 manip' qui allaient du porte à porte jusqu'aux expositions. La ligne budgétaire allouée au dialogue citoyen représente la moitié du budget études. Cela a permis de dégager le plan guide à l'échelle du territoire et des zooms sectoriels en vue de leur transformation. Un des axes du plan guide c'est la nature en ville, la mise en valeur du paysage. On imagine remettre en culture un certain nombre de sols, ou en tout cas les remettre en lien. Donc aujourd'hui ce sont des intentions, reste à les concrétiser.

8. Et toutes ces terres que vous voulez remettre en culture, c'est le SEV qui intervient avec vous pour évaluer leur qualité ?

Alors, aujourd'hui on en est à la définition des grands axes. La mise en œuvre viendra dans un deuxième temps, et demandera des études plus poussées. On imagine ensuite de créer une ZAC, on est déjà dans la démarche des études pré-opérationnelles sous forme de mandats.

9. Et vous avez une idée de qui pourrait intervenir sur ces compétences ?

Alors on a l'exemple de Doulon-Gohards, donc on sait qu'il existe des structures qui réfléchissent sur ces questions. Là où à mon avis ils ne sont pas forcément très armés, c'est justement sur ces questions de nature des sols, fertilité, etc. Je ne suis pas sûre qu'ils aient fait des analyses de sols. Je ne sais pas… Après, nous on peut l'intégrer, et puis… Aujourd'hui la question qui se pose c'est ce changement radical de zonage, car remettre ce secteur en zone agricole ça ne se fait pas couramment…

10. En général, les projets d'aménagement urbains réclament-ils une certaine pluridisciplinarité ? Est-ce que les appels d'offre réclament des compétences élargies ?

Oui, totalement, de plus en plus on essaie de balayer… C'est indispensable aujourd'hui. Parce que les gens aujourd'hui sont de plus en plus sensibles, et font attention à ces questions. Les quartiers prioritaires où les gens n'ont pas le même niveau d'information, on se charge de le leur donner. Donc la solidarité doit jouer là aussi. Et puis malgré tout, ce sont des discours qui viennent de partout, de la santé, etc. Et malgré tout ils disent aussi que le bio ce n'est pas pour eux, car c'est cher. Donc on est aussi dans la pédagogie par rapport à cela. Nos projets visent aussi à rouvrir la perméabilité des espaces verts. La particularité de Nantes Nord c'est aussi qu'on a des branches majeures de l'étoile verte de Nantes, et des couloirs de biodiversité et des zones humides. Le quartier est celui le plus vert de Nantes Nord en termes de m2 d'espaces verts par habitants. On a beaucoup de vert à l'intérieur des quartiers mais qui ne sont pas reliés. Donc l'objectif à terme c'est de tisser tout ça, aussi pour des aspects de santé publique. Si on permet des déplacements doux, c'est une meilleure qualité de vie car les gens bougent… D'ailleurs on a gagné un appel à projet Européen sur ces questions de santé, de qualité de vie (Urbinat).

11. J'essaie de développer un OAD dans ma thèse à l'attention des aménageurs pour avoir une meilleure prise en compte du sol, mais du point de vue agronomique, dans les projets d'aménagement. Pensez-vous que cet outil doit être un nouvel outil ou préféreriez-vous qu'il soit intégré à un outil que vous utilisez déjà ? Lequel ? Parce que des personnes m'ont déjà répondu qu'il existait aujourd'hui trop de contraintes en aménagement, trop d'outils à prendre en compte, et que ça viendrait complexifier une fois de plus la manière de faire l'urbanisme aujourd'hui ?

Alors oui… Après, est-ce que ces diagnostics vont changer radicalement notre façon de penser ? Radicalement je ne sais pas. Je dirais que les espaces construits, les pleins, les vides... Aujourd'hui on est dans des espaces assez peu construits, on est dans des espaces peu denses, on vient construire dans des interstices, et on démolit assez peu dans notre projet. On structure notre renouvellement urbain sur le maintien de coulées vertes. Donc au préalable, on n'imagine pas venir construire dans ces endroits. C'est

juste la question, de comment on vient re-couturer tout ça. Aujourd'hui ce sont des isolats en fait. L'architecte urbaniste est parti de très loin, et la particularité c'est qu'on a des poches de densité au milieu d'un tissu pavillonnaire, avec une faible densité. Deux possibilités : soit on construit un max dedans, et nous on a essayé de faire plus finement, en préservant et en donnant de la qualité aux espaces verts, centraux. On a même préféré démolir des immeubles pour venir construire d'autres modes d'habitats, en conservant un jardin et en se questionnant plutôt sur ses usages : lieu de culture ou pas, lieu de loisirs, de rencontre. Donc on résonne usages. On a des espaces naturels remarquables qui ne sont pas connus et vus par les habitants. Il faudra bien se poser les questions que vous soulevez : la qualité du sol, est-ce que c'est exploitable, est-ce que c'est mieux de les mettre ici ou pas ? Ça peut être aussi des jardins partagés en permaculture. Il y a plein de choses possibles. Soit on prend le sol comme une contrainte, soit on le prend comme une opportunité, une capacité, une potentialité. Et ça peut être le lieu aussi où l'on vient poser des bacs et dans lesquels on crée de la culture. La qualité des pleins se fait par la qualité des vides, qui amène à une question d'usages. On essaie aussi d'avoir un dessin très précis sur les limites, pour éviter les intrusions de véhicules à moteur, etc. Mais on ne voulait pas faire du barriérage. Donc on a pensé à des haies bocagères et des noues, qui permettent aussi un regain de biodiversité, et puis aussi une meilleure gestion de l'eau. L'architecte urbaniste est Jean-Marc Bichat de l'atelier JAM.

12. **Justement, c'était ma question d'après, est-ce que vous pensez que les élus sont assez sensibles à cette problématique de qualité agronomique des sols ?**

Euh non, c'est surtout qu'on leur en parle. Mais ça remonte, par les habitants. On a entendu des gens parler de qualité des sols, de culture, et dire qu'à cet endroit-là c'est difficile de cultiver, etc. Ce n'est pas la première chose qui ressort, mais quand on continue à discuter avec eux, ça ressort. Mais ce n'est pas une préoccupation des élus, ils ne l'ont pas encore complètement intégrée. Ils voient surtout le côté pratique, alors le marqueur de la nature en ville chez Johanna Rolland, c'est ancré dans son discours et sa pensée. Mais je dirais que c'est aussi issu du dialogue citoyen.

13. **Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

Alors là vous parlez à quelqu'un qui fait de l'aménagement, donc effectivement le sol c'est le droit à construire. Le sol c'est ce qui génère la capacité à accueillir potentiellement un équipement de constructibilité, un aménagement, mais au sens large. Un aménagement c'est aussi un parc. L'aménagement ne vise pas qu'à construire des logements ou du dur, ça va bien au-delà aujourd'hui. Aujourd'hui notre métier il est... le fameux terme des aménités c'est ça quoi… C'est l'aspect paysager. On ne fait pas que poser un bâtiment sur une parcelle. On imagine aussi ce qui est paysager. Et puis dans le cas du PLUm on va aussi avoir un coefficient de biotope à appliquer à la parcelle, qui pour le coup vient percuter vos préoccupations, sur la notion de perméabilité, les ilots de chaleur, maintenir les capacités d'absorption du sol et donc ne pas couper les réseaux hydriques et donc maintenir la végétation… Aujourd'hui, dans l'équipe projet, le SEV est intégré dès le départ. Ils ne viennent pas à la fin. L'équipe regroupait aussi un paysagiste, Caudex, basé à Lyon, qui bosse sur la notion de culture, d'exploitation, de remise en culture de bois, etc. Donc ils avaient intégré ça dès le démarrage, avec le SEV. Pour moi en plus c'est une évidence. Je crois que même les durs des durs des bétonneurs ils se prennent une volée des habitants. Parce qu'ils sont sensibles à ces questions. Tous dans l'aménagement on est formé à ces notions de développement durable. Donc si on ne regarde pas la base qui est le sol. Le sol c'est le socle. Partons de la base et des questions de base. C'est juste du bon sens le développement durable. On commence à y revenir. Même les projets aujourd'hui sont de plus en plus comme ça. C'est pas le développement urbain contre le SEV.

14. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Régulation de la qualité de l'air : 5
Régulation du climat : 5
Régulation des aléas naturels : 5
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 4

Habitat pour la biodiversité : 5
Biomasse : 5
Ressource ornementale : 5
Energie : 2
Support d'infrastructures et bâtiments : 5
Support d'activités humaines : 5

Entretien avec MOE – site NM – LB (31.01.18)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Le sol c'est, vraiment, c'est le support et un lieu de vie en soi. C'est… enfin voilà. Support de l'ensemble… Bon, je ne pense pas vraiment aux bâtiments, je suis de formation végétale, et c'est vrai que je ne pense qu'aux végétaux. Mais évidemment c'est support aussi… Mais après ce n'est plus vivant, ce n'est plus du tout la même chose quoi. C'est vrai que maintenant les constructions, et pas que maintenant, c'est tellement des fondations… Par contre c'est vrai que maintenant ce qu'il se passe c'est que comme il y a des chantiers de construction à l'échelle de la Métropole même, on arrive à récupérer comme ça de la terre. Voilà, il y a des gens qui nous ont bien identifiés. Et c'est vrai que pour d'autres projets, qu'on a besoin nous de revégétaliser, de changer quelques terres ou autre, là ça nous permet bien évidemment d'avoir une manne, et évidemment on a eu que ce soit par un phénomène anthropique ou par rapport à un phénomène naturel, de décomposition de roches et autre, on a eu des pollutions, et notamment sur des sites cultivés. Car c'est vrai qu'il y a le jardin, il y a les espaces naturels, ensuite il y a les parcs et jardins, avec des plantes plus horticoles, qui parfois ont été remaniées, même dans leur profil, et il y a tus les jardins collectifs qui se sont développés. Evidemment, à partir du moment où des personnes cultivent des fruits et légumes pour se nourrir, on rentre dans le cadre de la santé aussi, et là des analyses ont été faites. Et à un moment ça nous a surpris car c'est vrai qu'il y a tout un tas de programme de recherche, et bien évidemment des restrictions… Et bon voilà, vous savez évidemment que le sol c'est une denrée rare, une ressource, qui… Qu'on commence… Enfin qu'on regarde à gérer un peu différemment. Et de plus en plus, on travaille bien sûr sur les chantiers, sur le fait de ne pas exporter, trop importer, et puis voilà…

2. **Durant toute la réalisation du projet, accordez-vous de l'importance aux problématiques qui peuvent se poser en termes de gestion du sol sur site ? Comment les pratiquez-vous ?**

Je pense que oui forcément, c'est quand même plus qu'il y a quelques années, dans le sens où… Je ne pense pas évidemment… Enfin bon s'il y a besoin pour un quelconque projet, par exemple je pense au fait que là on a un projet pour créer de nouveaux jardins collectifs, donc grosso-modo la terre va bien, mais il y a quand même un endroit où on va vouloir gagner, parce que l'idée c'est aussi par rapport à l'imperméabilisation, et bien de gagner en perméabilité… et de regagner en perméabilité. Et donc sur ces sols-là, et bien forcément on est obligé parfois, ou quand la couche de sol est trop faible, pour certains usages, et notamment pour les jardins à cultiver, on est obligé d'avoir un apport. On ne peut pas non plus… Bien sûr on est obligé d'apporter. Et c'est vrai que de plus en plus on fait des analyses plus poussées qu'on ne le faisait avant, on va regarder les polluants par exemple… Elles sont plus poussées.

3. **Quand la terre est apportée savez-vous d'où elle vient et quelle est sa qualité ?**

Ah ben là oui, oui… On fait des analyses avant, avec quand même une traçabilité. Les collègues suivent bien en général. Donc c'est vrai que pour certains usages, notamment agronomiques, le jardin collectif, on ajoute évidemment tous les polluants de façon beaucoup plus poussée pour être sûre d'avoir des terres… enfin une innocuité de ce côté-là.

4. **Quels indicateurs regardez-vous dans des analyses de sol ? Vous parlez de polluants, mais cherchez-vous à avoir une information sur la fertilité du sol par exemple, d'un point de vue peut-être plus agronomique ?**

Ben disons que là régulièrement il y a un laboratoire qui est sur le site de la Chantrerie auquel on fait appel. Le tout c'est d'avoir une…

5. **Et ces études vous les compléter par des études géotechniques, pollutions, zones humides, etc. ?**

Ben disons que là on est à l'échelle des projets qu'on mène actuellement… Disons que moi je gère grosso-modo… les grands projets du SEV ont pour la plupart tous été réalisés… Tous les autres sont gérés dans le cas de ZAC… C'est les urbanistes qui recommandent plus communément les sociétés SPL, des… c'est une MOA déléguée avec MOE. Donc là évidemment dans ce cadre-là il y a des études plus poussées. Mais c'est vrai que toutes ces études sont menées dans le cadre de ces grands projets. C'est vrai que nous, la plupart du temps au quotidien, à part sur quelques petits projets, ou parfois c'est plus aussi dans la gestion ou l'entretien, donc ce n'est pas non plus la même… Donc voilà, sur les différents sites, c'est typiquement le cas ZAC… Et par contre, le directeur du EV, ça fait quand même une trentaine d'années qu'il est là donc évidemment il a vu en amont les grands projets se développés. Donc évidemment il y a aussi… dans ce service, des personnes qui restent très longtemps… Il y avait aussi… Par exemple le parc floral de la Beaujoire, c'est un parc qui a été réalisé entièrement par le SEV. Donc il y a quand même une connaissance sur ce patrimoine qu'on a, qu'on entretien et qu'on gère. C'était les chauffeurs qui intervenaient, avec leur matériel…

6. **Et finalement, grâce à cette connaissance, vous êtes à même en arrivant sur un site, juste avec des indicateurs visuels, d'évaluer la qualité des sols ? Sans passer par les analyses, je veux dire ?**

Oui, effectivement, quand c'est des remplacements de certains sujets ou pas… Ce n'est pas… Par contre, on peut avoir des surprises. Ce qu'il faut savoir aussi c'est qu'il y a le développement de la métropolisation. Et à Nantes par exemple, les villes ont conservé les parcs/jardins/squares/promenades. Les espaces publics sont devenus métropolitains et notamment les alignements d'arbres, avec des collègues maintenant qui s'en occupe. Donc on travaille avec eux la partie investissement, donc on renouvèle ou on plante de nouveaux alignements, pour autant l'entretien on le réalise toujours. On a à notre charge la gestion et l'entretien des alignements d'arbres pour le compte de Nantes Métropole. Et justement la dernière fois il y a eu des sujets, des grands sujets, qui sont morts sans qu'on ne puisse expliquer pourquoi et surtout sans signes précurseurs. Et de fait, on a suspecté qu'il y avait quelque chose dans la fosse. Donc on fait des recherches plus poussées, effectivement il y aura peut-être la trace d'eau ou… Ca amène à quelques recherches où on regarde la circulation de l'eau. Donc là c'est ce qu'on va faire avant de décide ce que l'on va faire au niveau de ces fosses, ou ce que l'on va planter. Car évidemment on ne va pas replanter la même essence, puisqu'elle ne supporte pas… évidemment si c'est un problème de noyage… C'est ou le sol, ou la nature du sol, ou l'eau mais enfin voilà, ça demande quand même des investigations plus poussées.

7. **Quelle est la formation des personnes travaillant au SEV ?**

On a la chance d'être dans un bassin horticole, avec en même temps des organismes de formations. Donc le directeur et moi-même on a fait l'école nationale et supérieure d'horticulture de Versailles, avec une préformation en biologie et environnement, il y a des collèges qui ont fait l'école d'ingénieurs d'Angers. Mais aussi, vous avez tout un ensemble avec les techniciens, avec Angers, Nantes, avec plein d'établissements… Il y a aussi des ingénieurs forestiers. Donc on a la chance d'avoir des personnes bien formées et passionnées.

8. **Est-ce que vous trouvez que le sol est pris en compte dans l'aménagement du territoire aujourd'hui ? Que c'est un critère qui permet d'orienter le dessin du projet ?**

Là c'est… Il y a quand même sur des sites (Champ de Manœuvre par exemple), des zones boisées que l'on cherche à protéger, des zones humides, etc. Donc… C'est quand même… Voilà… Bon après en même temps, quand vous allez sur l'Ile de Nantes, qui était quand même une zone de chantiers, pas naturel, c'est encore un contexte différent, où évidemment on est plus dans la reconquête de la perméabilisation et du végétal. On est dans un système très anthropisé. Donc là évidemment, les dessins, les routes, c'est beaucoup plus simple… Vous n'avez pas les mêmes contraintes a priori.

9. **J'essaie de développer un OAD dans ma thèse à l'attention des aménageurs pour avoir une meilleure prise en compte du sol, mais du point de vue agronomique, dans les projets d'aménagement. Pensez-vous que cet outil doit être un nouvel outil ou préféreriez-vous qu'il soit intégré à un outil que vous utilisez déjà ? Lequel ? Parce que des personnes m'ont déjà répondu qu'il existait aujourd'hui trop de contraintes en aménagement, trop d'outils à prendre en compte, et que ça viendrait complexifier une fois de plus la manière de faire l'urbanisme aujourd'hui ?**

Euh… Evidemment, vu la formation, moi oui… Après c'est vrai qu'étant dans la ville centre de l'agglomération, dans un environnement quand même très bâti, c'est vrai que là les possibilités sont quand même plus que restreintes… Mais en même temps c'est… Oui, ce que j'ai du mal à évaluer à priori, c'est par exemple sur une commune comme Nantes, quels sont les potentiels ? Quand je regarde par exemple le parc de la Chantrerie, c'est quand même un parc aménagé par un paysagiste au 19ème siècle, avec en même temps, sur les bords d'Erdre, donc il y avait cette vue sur l'Erdre. Il travaillait sur l'aspect paysager. Et ça veut dire qu'on a ça en héritage. Par contre nous, nos modes de gestion ont évolué. Donc ça veut dire que quand on s'est remis à faire de la prairie dans les zones humides, il y a des espèces qui sont réapparues. Donc on a tous ces indicateurs plantes… On a la chance d'avoir un botaniste, d'avoir des jardiniers motivés qui participent aussi au programme Propaj', pour compter les papillons. Donc tout ça, ça apporte aussi comment par la gestion, participer à enrichir, ou à regagner en biodiversité sur les différents sites. Donc on ne part pas directement du sol… Mais en fin de compte aujourd'hui le sol on a peu de possibilités, parce qu'on impose de s'adapter aux usages d'aujourd'hui, tout en gardant et en préservant ce caractère paysager et remarquable. Et c'est vrai que ce n'est pas des sites où on a à remanier, ou enrichir… enfin voilà, où le sol n'a pas tellement vocation à bouger. On travaille aussi avec l'Université de Nantes, pour essayer des méthodes de phytoremédiation, ou adapter les plantations, pour éviter ce qu'on a pu faire avant, c'est-à-dire ramener de la terre… Même si bassin horticole, avec des formations horticoles, il y a quand même une forte sensibilité… c'est vrai que la caractéristique de Nantes ce sont ses parcs, mais voilà, il y a des espaces naturels. C'est amusant comme tout se côtoie et cohabite. Et moi je trouve que paysagèrement tout fonctionne ! Et c'est vrai que des fois on est confronté à des pollutions et on doit les traiter. ET là pour le travail avec l'Université de Nantes, ont été soumis réglementairement à faire es études, avec des BET également, car il y avait la loi sur l'eau et aussi le classement de la vallée de l'Erdre. Donc on a été obligé, mais pourquoi pas, de faire ces études… Mais c'est aussi des… l'Etat s'assure de gérer les choses correctement. Et à partir du moment où on a détecté la pollution on avait une voie d'enlèvement et de traitement, selon la filière adaptée.

10. **Et ça vous évitez, quand vous avez de la pollution, de mettre en décharge ? Vous préférez traiter sur place ?**

Ah non mais là de toute façon c'était interdit. On n'avait pas le droit sur ces milieux-là. Ce sont des sédiments, il y avait de l'eau… Donc là, on était contraints.

Entretien avec Chef de chantier – site NM – LB (24.01.18)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte ? A-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

Alors, dans notre métier, la définition du sol ? Waouh ! Alors nous, le sol c'est la base pour en fait tout ce qui est végétal, pour l'installation du gazon, pour l'implantation d'arbres, et puis pour la mise en place de la petite faune floristique, tout ce qui est annuel, bisannuel, les buses… euh… et puis tout ce qui est sol disons moins travaillé, pour les plantations, tout ce qui est sol de réception pour les aires de jeux, les stabilisés.

2. **Est-ce que vous faites la distinction entre le sol et la roche-mère ? Est-ce que vous avez des critères pour les différencier ?**

Ah non, ça s'arrête le continuum. On s'en rend compte par exemple si on fait une fosse de plantation pour un arbre, on se rend compte qu'on est sur la roche-mère. Mais ça s'arrête là. On ne fait pas d'étude de sol comme vous pouvez faire dans votre domaine. C'est très rare.

3. **Aujourd'hui dans le monde de l'aménagement, vous trouvez que le rapport au sol est fort ? Faible ? Ou ça dépend des contextes, du site, etc. ? Ce sont des questions que vous vous posez souvent ?**

Alors souvent, on va dire dans la majorité des cas, c'est très aléatoire. Les architectes-paysagers ont le plan comme ça, et après ils vont mettre telles ou telles espèces, essences, sans regarder ce qu'il peut y avoir dans le sol. Par exemple, on a vu des zones humides où des essences ne sont pas du tout appropriées à ce genre de milieu. On le fait remonter, en disant que ce n'est pas l'essence adaptée, mais le problème c'est que ce n'est pas suivi. C'est déjà acté et engagé financièrement.

4. **Dans ce cas-là cela induit forcément des frais de gestion ?**

Bah oui, parce que l'essence finalement elle va péricliter ou ne pas pousser pendant deux-trois ans, et on va dire dans le N+2 ou N+3 on va la changer, et ce n'est plus les mêmes financements quoi.

5. **En sont-ils conscients ? Et malgré ça ils font toujours comme ça ?**

Alors ça je ne sais pas vraiment. Parce que s'ils en sont conscients c'est quand même dommage. Je ne sais pas, franchement. Moi je dirai plutôt qu'il y a des fois on se demande si ce n'est pas juste pour faire de l'argent. Voilà, c'est un peu ça qui me…

6. **Et de manière générale, si vous trouvez que cette considération du sol manque aujourd'hui en aménagement, est-ce parce que les acteurs n'en ont pas une assez bonne connaissance ? Par manque de sensibilité ?**

Déjà, ils ne doivent pas rentrer ça dans leurs facteurs d'aménagement, pour les aménagements urbains, réhabilitation de quartier et tout ça… Eux ils sont sur leurs coursives mobilières, et puis après on met des végétaux parce qu'il faut en mettre pour le public et puis voilà quoi… On va dire que c'est du tape à l'œil. Donc ouais, ils ont peut-être quelques petites connaissances du sol, enfin j'espère pour eux, mais après, ce n'est pas leur priorité… Enfin je ne pense pas. On a eu le cas un petit peu plus loin, sur Bout des Landes, où il y a eu un réaménagement de quartier, toute une réhabilitation, et bon… ils passaient à travers avec les engins, il y a eu tassements de sol, et tout ça… Donc finalement, toute la structure du sol ne doit pas trop les inquiéter.

7. **Pensez-vous que ce soit également lié au fait que vous êtes dans une région où la terre végétale est quand même encore bien disponible, où il n'y a pas vraiment encore de contexte tendu sur cette question-là ?**

Ah oui, de la terre on en trouve assez facilement. On est quand même une région où on arrive quand même à faire pousser pas mal de végétaux…on a une grosse palette de végétal. Donc le sol on n'est quand même pas trop embêté. Effectivement après si on se retrouve avec des fosses comme vous avez fait ce matin, on évacue la mauvaise terre entre guillemets, et on ramène de la végétale.

8. **Justement, comment jugez-vous de la qualité d'une bonne terre ? Avez-vous des indicateurs qui vous permettent de prendre votre décision ?**

Alors il y a à l'œil nu, quand on voit nous ce qu'on appelle de la glaise, ou c'est tout compact, on se dit que l'arbre ou telle plante va avoir du mal à pousser là-dedans. Après, des sols rocheux bah c'est pareil, on se dit que finalement on ne va peut-être pas planter-là parce que ce n'est pas la peine. Donc oui il y a le visuel, il y aussi un peu la connaissance du milieu, de ce genre de choses. Moi je suis sorti d'une formation forestière, donc je suis peut-être un peu plus sensibilisé à la géologie, la pédologie. Même les gars, ils sortent de bac technique paysage, donc voilà ils ont quand même connaissance de ce milieu. Et puis beaucoup de gens sont issus du milieu agricole aussi, donc ils savent, ils connaissent la terre. On n'est pas beaucoup de gens de la ville à travailler en plein cœur de la ville quoi.

9. **Est-ce qu'il est déjà arrivé que vous voyiez des agronomes ou pédologues intervenir sur des chantiers, comme nous l'avons fait ce matin ?**

Euh, non… Enfin, si, je vous dis non mais c'est faux ! Quand je suis arrivé, quand j'ai pris mon poste sur le secteur, il y avait un souci de pollution sur des jardins familiaux, avec du sol pollué au plomb, pollution naturelle hein… Donc il y a eu… enfin c'est l'école de Nantes là… l'INRA de Nantes, qui ont fait des analyses, qui ont envoyé en laboratoire, chez Novalis, et puis voilà… De là en est découlé de mettre, pour pas que les jardiniers aillent plus loin que le sol d'origine, de mettre des grilles béton, une structure métallique et de rehausser de 80 cm de terre apportée sur site.

10. **Est-ce que c'est déjà arrivé que la MOA impose une quantité de terre minimale à exporter ? Enfin une masse de terre exportée à ne pas dépasser ?**

Alors-là, je dirai c'était open-bar ! Il n'y avait pas de limite, il fallait de toute façon remettre en fonctionnement les jardins familiaux. Donc il n'y avait pas de fourchette financière. Et sur la Boissière, pour l'instant il n'y a rien d'établi sur le devenir du site. A part un accès routier, une rue pour désenclaver dans un sens et dans l'autre.

11. **Quand les terres sont excavées, il y a-t-il un regard de leur qualité ? Est-ce que vous savez où elles partent ? Qui décide de où va cette terre ? Et comment la décision est prise ? Est-ce que si les sols sont pollués vous avez une politique de les dépolluer sur site ?**

Alors là il y a tout un protocole de dépollution, que je ne pourrai pas bien vous définir, car je n'ai pas eu l'occasion encore de travailler avec, mais je sais que là-dessus, quand on vide les bassins dans des parcs,

ces choses-là, il faut obligatoirement faire des analyses des boues pour savoir si elles sont polluées, et si elles sont polluées, elles sont évacuées sur des sites… Après, je ne peux pas trop vous en dire plus. Alors je sais qu'elles partent sur un site de dépollution, mais après à quel endroit exactement… Je pourrai le savoir, je pense que si j'appelle le référent je peux le savoir…

12. **Et quand les terres sont amenées, est-ce qu'il y a une connaissance de la qualité des sols qui arrivent sur site ? Et de leur provenance ?**

Alors oui, on sait d'où elle vient, elle a été analysée… Ca là-dessus… Après c'est pareil, on fait attention, pour peu qu'il y ait des espèces invasives dedans ou… Donc on doit être vigilent là-dessus.

13. **Et avez-vous une réévaluation de cette terre lorsqu'elle arrive sur site ?**

Ah oui, elle aurait pu bouger un petit peu ?... Non, elle est stockée sur un site principal et après… Si par exemple là c'est stocké au cimetière parc, si j'en ai besoin ici, elle ne va pas être réévaluée.

14. **Est-ce que cela vous est déjà arrivé que la terre qui arrive ne soit pas conforme à la commande ?**

Alors non, on n'a jamais eu ce problème-là.

15. **Est-ce vous qui faites la demande de diagnostic ?**

Alors quand elle est sortie du site, envoyée au cimetière parc ? Non. Ce sont les ingénieurs et ensuite c'est dans les marchés…

Entretien avec Aménageur – site NM – CM (30.01.18)

1. **Comment vous définiriez le sol d'une manière très courte et a-t-il une limite dans l'espace et quelle est cette profondeur ?**

C'est le support de tous nos aménagements et de toutes les constructions qui vont arriver sur le terrain. Et effectivement on va loin, on le regarde très profondément, parce qu'on va jusqu'à la roche. Ce qu'on cherche c'est la roche dure pour pouvoir déterminer s'il y a des fondations à faire. Donc nous très clairement on ne rentre pas dans la technique, en tant qu'aménageurs et responsables d'opérations, mais c'est vrai que je mène à bien des études pour vérifier à la fois que les fondations ne vont pas être plus onéreuses, donc sur l'aspect géotechnie. Donc on fait un certain nombre d'études qui sont peu spécialisées au départ et ensuite plus spécialisées, en fonction des hauteurs de construction, qui vont déterminer… Moi ce que je leur demande, c'est s'il y a une complexité particulière. Et les études après on les joint en consultation des promoteurs. On les joint aussi à toutes les consultations des entreprises de travaux d'aménagement, et c'est eux, les MOE, qui me disent ensuite « à bah là attention, il va falloir des fondations spéciales ». Donc c'est là où je suis alertée. Et puis sur l'aspect environnemental, c'est vrai que c'est un sujet très important, car il faut que les usages futurs soient compatibles avec l'état des sols. Donc là il y a tout un certain nombre de réglementations, et donc moi je m'assure auprès des BET de sol qu'effectivement, ça soit compatible. Alors quand ça ne l'est pas, je mène des études complémentaires. Très clairement pour l'exemple du Champs de Manœuvre, on a fait les premières études, on a vu qu'il y avait une pollution aux métaux lourds, dont on ne savait pas si c'était d'origine naturelle ou anthropique, et puis on a mené des études géotechniques, et là on a été alerté sur un certain nombre de sujets, pas tellement géotechniques, mais plutôt sur l'eau, car il y a le côté hydraulique aussi qui est important, le fait qu'il y ait des nappes proches de la surface, des zones humides, etc. Les zones humides sont aussi importantes sur le secteur, car on en a une partie, et puis on est allé dans des études plus fines, car les usages n'étaient pas possibles sur certains secteurs. Donc ça n'a pas non plus révolutionné le projet, si ce n'est quand même en lien avec les zones humides. On a fait des investigations de sols au niveau pédologiques, car il y avait déjà eu des investigations au niveau de la faune et de la flore, mais on a vu qu'il y avait des sols qui étaient considérés comme zones humides du point de vue de la réglementation, et là on a complètement fait évoluer le dessin du projet, de façon très radicale. Car manque de chance, la centralité du quartier tombait pratiquement au même endroit que la zone humide. Mais le parti de l'urbaniste, évidemment en concertation avec nous, c'était de se dire que plutôt que d'aller dans un processus de compensation, de discussion avec l'Etat qui allait être un processus complexe, difficile à justifier même auprès des habitants ensuite. Donc effectivement ça aurait été très compliqué à passer ne serait-ce que réglementairement. Toute la partie éviter-compenser-réduire qui est demandée par l'Etat dans le cadre

des études d'impact. Donc le projet s'est dessiné autour des zones humides, mais également des espaces naturels de qualité, les boisements les plus qualitatifs, les arbres les plus anciens.

2. **Et en parallèle de ces études, est-ce qu'il vous est arrivé de faire faire des études plutôt orientées agronomie du sol ?**

Non, ça commence vraiment à devenir nécessaire, car il y a beaucoup plus de jardins familiaux dans la programmation qui est demandée. Bon ça encore les jardins familiaux c'est une partie publique, donc je dirais qu'on en a totalement la maitrise. Mais même au sein des projets immobiliers, on demande de plus en plus à ce qu'ils nous proposent des aménagements extérieurs, co-construits avec les habitants, des composteurs, etc. Et donc forcément il faut s'assurer que ce soit possible. On ne va pas leur demander d'être innovants sur l'aspect paysager et aménagements extérieurs si le sol est pollué. Donc on s'assure, comme sur Champ de Manœuvre où on a vu sur certains sites qu'il y avait une pollution aux métaux qui ne permettait pas un usage de potagers, donc là on leur interdit de faire du potager, plutôt que de leur dire d'enlever les sols et d'en ramener de l'extérieur, sachant que toutes les opérations immobilières n'ont pas toutes des potagers. Ils pourront le faire d'une autre façon. Par contre, il y a d'autres sites où on incite à avoir des potagers qui puissent être mutualisés entre plusieurs opérations, ilots, l'idée étant de mélanger un certain nombre d'habitants du quartier, avec cet aspect travail participatif et mixité. Mais effectivement, l'état des sols a vraiment un impact sur l'opération.

3. **Mais quand vous parlez de l'état des sols vous faites référence à leurs caractéristiques géotechniques et de pollution, pas à l'aspect agronomie ?**

Alors non, enfin on y va sur les jardins familiaux, où l'on vient de lancer… enfin les prélèvements ont été faits hier, des prélèvements agronomiques. Donc là c'est l'écologue de l'opération, qui est dans l'équipe de MOE. C'est elle qui a fait les prélèvements, en lien avec l'Université de Nantes, l'IRSTV, avec B. Béchet, C. Le Guern et T. Lebeau. L'Université est intégrée dans le conseil nantais de la biodiversité, qui est dirigé par les élus, et qui en fait rassemble un certain nombre de personnes de compétences variées, et qui se rend sur des sites, très en amont du projet, écouter notre première évaluation du site, notre programme, et ils posent des questions et parfois font des recommandations. Donc nous ça nous a permis de nous mettre en contact, et ensuite d'avoir envie de travailler avec eux. Le bureau d'écologie s'appelle Urban Eco, c'est Marie Linglart qui le dirige.

4. **Avez-vous déjà pu voir des agronomes ou pédologues intervenir pour faire des études agronomiques lors de ces phases amont ?**

Alors, je sais que j'ai un collègue qui fait la même chose sur Doulon-Gohards, où il y a un projet de fermes urbaines. On le fait quand il y a des jardins ou des projets agricoles. Donc c'est obligatoire. On nous a fait comprendre sur Gohards par exemple, qu'il n'y aurait pas de porteur de projet si on ne s'était pas assuré de la qualité des sols du point de vue agronomique.

5. **En général, les projets d'aménagement urbains réclament-ils une certaine pluridisciplinarité ? Est-ce que les appels d'offre réclament des compétences élargies ?**

Ah oui, clairement. Sur tous les aspects. Déjà les programmes sont de plus en plus complexes. Effectivement, moi je n'avais jamais fait de projets agricoles… Enfin nous on fait de l'aménagement, on aménage des espaces publics, des voies, des rues, des jeux d'enfants, des parcs, des commerces… Mais effectivement, des projets où l'on accueille des moutons ce n'était pas quelque chose que l'on pratiquait avant. Et aujourd'hui ça se développe énormément. Après, c'est vrai qu'on a eu quand même des difficultés sur les études agronomiques. Moi c'est vrai que quand j'ai demandé, car on a une AMO études de sol pour le Champ de Manœuvre, et ensuite c'est lui qui nous fait les cahiers des charges, car ça reste quand même des compétences très spécifiques, techniques. Et ensuite on a des BET, qui font soit les études géotechniques soit les études de sol. Et c'est vrai que quand je leur ai demandé d'intégrer une partie agronomique, ils m'ont dit qu'ils ne savaient pas faire. Et c'est vrai que là, j'ai compris qu'il fallait aller vers d'autres types des BET.

6. **Justement, avez-vous en tête une pareille structure qui a la compétence de venir étudier sur site la qualité agronomique d'un sol ?**

Et bien non ! L'écologue avait pratiqué ça, donc heureusement qu'on l'avait sous le coude. Le service des espaces verts de Nantes m'a envoyé vers un contact, un petit BET qui avait fait des analyses. Mais c'est vrai que pour moi c'est plus des laboratoires ou des BET qui font des analyses, plutôt que… enfin qui va nous conseiller après. C'est vrai que nous quand on fait des analyses, nous n'avons pas les compétences pour les

lire. Et puis après on a des personnes, je pense que c'est un métier qui se développe… on a là un ingénieur-agronome, qui est maraicher, et qui parallèlement fait des études agronomiques, pour quiconque souhaite en avoir. Il travaille sur Doulon-Gohards aussi. Et donc voilà, par le réseau on arrive à connaitre des personnes qui savent faire ça. Mais ce n'est pas aussi classique que de choisir un urbaniste, une entreprise de travaux, on n'a pas une liste de BET définie en amont…

7. Durant toute la réalisation du projet, accordez-vous de l'importance aux problématiques qui peuvent se poser en termes de gestion du sol sur site ? Comment les pratiquez-vous ?

Oui, c'est un des principes du Champ de Manœuvre. Car en fait, on m'a alertée très vite sur le fait qu'il y aurait besoin d'énormément de terre pour réaliser les routes. Alors finalement ce n'est pas tant le cas que ça. Puisque comme on a des zones humides, et on veut une rétention le plus possible à la parcelle, enfin il y a une question de gravité, donc il fallait que les voies soient surélevées, donc ça veut dire un apport de terre énorme. Donc là ils ont géré plus finement les choses. Et parallèlement on en évacue énormément quand on fait un parking sous-terrain. Donc est-ce qu'on ne peut pas travailler cet aspect-là. Donc là les besoins sont moins importants, mais ce que j'ai demandé, et c'est ce que j'ai demandé aussi quand on a réalisé les études géotechniques et de pollution, c'est si on pouvait réutiliser les terres déjà prélevées sous les espaces publics, et les réutiliser sur les espaces publics. Donc voilà, juste public-public. Car c'est quand même compliqué, on s'est aperçu, quand il y a un changement de MOA, et puis là il s'avère que les besoins sont moins importants donc on a suffisamment de terre… Bon après ça implique des traitements… Au début le BET m'a tout de suite dit que c'était un peu compliqué, que ça allait être cher… Enfin bon, j'avais l'impression que ça l'embêtait un peu parce que ça modifiait ses pratiques, et ça complexifiait son travail, sa façon de faire… C'est plus simple d'évacuer et de ramener de la terre quoi… Donc là, il a intégré cela… Donc après il y a différentes prescriptions hein, couche de forme, etc. Mais il y a différents traitements qui vont être faits, dont un à la chaux, pour que les terres soient réutilisées. Donc ce sont des prescriptions qui vont être complémentaires dans les marchés de travaux, mais c'était la demande faite. Alors je sais qu'on ne s'occupait pas de ça avant, clairement. J'ai une autre opération que j'ai suivie avant où on a tout évacué et tout ramené, on a un tout petit peu réutilisé car il y avait des terres polluées, mais au dernier moment… Et puis bon, j'ai vu tous les écueils de cette façon de faire aussi… De se retrouver avec des grosses fosses qu'on a dû évacuer… Le temps que le projet se fasse ça fait des énormes piscines. Et puis même de manière opérationnelle c'est même un peu dangereux et puis c'est pas pratique, parce qu'on évacue dans ce que l'on croit être le sol, mais entre le moment où on fait le projet et le moment où les promoteurs construisent, le permis peut changer, et le parking peut se retrouver à un autre endroit, donc on a creusé là… Mais bon, ce n'est vraiment pas une bonne méthode dans l'ordonnancement de toutes les actions qui permettent d'arriver au logement, et ce n'est pas le bon timing.

8. Et justement, quand vous vous apercevez de la présence de certaines terres polluées sur site, avez-vous tendance à privilégier leur dépollution sur site ?

Alors là, on n'a pas encore… enfin pour l'instant il n'y a aucune terre qui va être évacuée. Mais on va peut-être sûrement en avoir. Il y aura simplement ce qui était terre végétale polluée, qui ne peuvent pas être réutilisées en sous voirie. Donc là on n'a pas beaucoup d'impact, mais je sais qu'on a un impact sous une voirie, où là ça va être évacué, car on ne voit pas comment le réutiliser. On n'a pas non plus de merlons à faire, qui pourraient être dans le paysage… Et puis le fait qu'on ait des zones humides c'est aussi un risque que ça se retrouve dans les zones humides… Après c'est pour ça que tout n'est pas terminé, on a vu que les ilots étaient impactés par la pollution, et il faudrait des mesures de gestion pour pouvoir construire. Donc là on va faire des analyses complémentaires pour affiner les zonages, car là c'est encore un maillage très large… Et en fonction de ça, on verra effectivement, soit on leur demande de faire les parkings à cet endroit-là, et dans ce cas ils évacuent comme ils le font normalement… Donc je pense que l'idée c'est ça, quitte à évacuer la terre, car il faudra bien en évacuer, il y a trop de terre sur site, autant vaut que ce soit à l'endroit où c'est pollué. Donc c'est vrai que ça ne résout pas la question des terres à l'échelle plus globale, mais c'est vrai qu'en tout cas on essaie de favoriser… parce que sinon ils seraient obligés de dépolluer un site, d'enlever des terres, dont on ne sait pas forcément où les remettre. Alors ensuite la dépollution sur site, T. Lebeau nous propose de l'expérimenter, au droit des jardins où vous êtes intervenus. Donc on va voir ce qu'on met en œuvre. Car en fait il y avait du cadmium donc on ne peut pas faire du jardin dessus. Donc l'idée c'est qu'il l'évacue, qu'il la mette sur un autre site du Champ de Manœuvre, et qu'il

expérimente une dépollution par les plantes, donc voilà, différents systèmes… Donc là pour l'instant on attend… Il faut caler les budgets… Là l'idée, enfin ce n'est pas une grosse échelle, il y a 10 mètres cubes seulement, donc ça ce n'est pas quelque chose… Enfin si on en avait plein partout… Mais ce n'est pas le cas.

9. Et juste par curiosité, pouvez-vous estimer le montant budgétaire qu'il faut pour réaliser ces analyses agronomiques ?

En fait, on n'a pas pu faire ce que l'on a souhaité, car au départ c'était 44 000 euros. Et nous on a dit que ce n'était pas possible. Alors dedans il y avait à la fois l'intervention de l'université, les laboratoires et l'écologue. Donc nous, ça ne rentrait pas dans notre budget. Donc on a opéré d'une façon différente, c'est urban-éco qui réalise les prélèvements, qui les amène en laboratoire et qui fait une analyse, qui sera croisée avec l'analyse de l'université. Donc là ils sont supports : analyse, présence aux réunions et recommandations. Et à la fin de l'étude, on leur a demandé d'avoir des préconisations, comme notamment replanter pour améliorer les sols le temps que les jardins s'établissent, d'ici à 2021. Donc ce n'était pas possible. Donc là ce que j'ai compris, il faut qu'ils aient des financements particuliers s'ils veulent retravailler sur le site.

10. Et par rapport à des analyses de pollution ?

Donc là c'était juste sur un petit secteur. C'est surtout une question d'échelle. C'était 44 000 euros pour des jardins familiaux. Et on a dû mettre 40 000 euros, juste en phase concession, je ne parle pas des études faites après, pour les études géotechniques, environnementales et les relevés piézométriques, à l'échelle du site. Et nous, sur une opération comme cela, on a un budget de 150 000 euros pour études géotechniques et environnementales tout compris, voire agronomiques. Donc c'était la moitié du budget…

11. Quand la terre est excavée savez-vous où elle part ? A l'inverse, avez-vous connaissance de la provenance de la terre végétale quand elle est apportée sur site ?

Alors moi je ne pourrais pas le dire de mémoire, mais oui on le sait. Quand on fait des marchés de travaux, on a tous les camions qui sont relevés… Enfin c'est avant, je missionne un MOE travaux dépollution, en leur demandant… on choisit la méthode de gestion, et ensuite ils envoient dans tel site, etc. et moi je dois signer les bordereaux et voilà. Donc si je cherche, je peux dire.

12. Et à l'inverse, qui décide de la nécessité et des caractéristiques d'apport de terre végétale ?

Alors ça c'est le MOE, qui met dans ses rapports ses prescriptions, terre végétale, avec apport… voilà il décrit. Après j'avoue que je ne vérifie pas. Je n'ai pas du tout de contrôle là-dessus. Mais par contre, c'est… en fait à un moment, quand les entreprises sont choisies sur la base de pas mal de critères, mais aussi les fournisseurs, ils font valider avant de planter les fournisseurs… Mais le MOE s'appuie sur le fournisseur et je ne suis pas sûre qu'il vérifie.

13. Est-ce qu'au même titre que la découverte d'une zone humide implique le redessin du projet, est-ce que la découverte d'un sol très fertile à l'endroit par exemple où avait été pensé un parking aurait la même incidence sur le dessin du projet ?

Alors, je pense que ça vient presque un peu tardivement les études agronomiques, donc du coup pour moi c'est dans la phase effectivement amont, avant de dessiner et créer la ZAC, que là on peut redessiner… Enfin je parle des grands espaces construits et non-construits. Donc à ce moment-là oui. Donc c'est plutôt en amont… Après de là à bouger… Enfin les études agronomiques pour moi ça a un sens surtout si on fait des cultures… Effectivement si on construit, si dans la programmation de la ZAC on envisage de faire des jardins familiaux, on va essayer de les faire là où ça se prête le mieux. Mais oui, en amont, oui. Maintenant, c'est vrai que typiquement, on sera vite embêté si on nous dit que les études agronomiques montrent que le sol n'est pas du tout fertile. Ce qui est fort possible d'ailleurs parce qu'on était sur une zone à ajoncs. Après, le projet urbain se dessine pour pleins de raisons, on ne peut pas construire ici, donc on met plutôt tous les équipements… Là on va plutôt chercher à amender, à améliorer, on ne va pas le mettre ailleurs. C'est pour ça que ce sont des études à intégrer plus tôt. Le projet dure 15 ans, donc on n'en crée pas tous les jours des ZAC. Donc à chaque création de ZAC, les méthodes se renouvellent tout le temps. Et je crois que sur Doulon-Gohards, qui a été créé après, je crois que des études agronomiques ont été menées en amont. Et je pense qu'aujourd'hui ça sera plus systématique. Comme les études zones humides, avant on ne s'en occupait pas. Et aujourd'hui on le fait dès l'amont.

14. Quels sont les arguments qui vous poussent à faire ces analyses ?

Bah après pour moi c'est une question de logique. C'est-à-dire qu'au même titre qu'on ne peut pas faire une école sur un secteur pollué, ben de la même manière ça me parait curieux de faire des jardins ou une

ferme sur un espace qui n'est pas approprié. Il faut que l'usage futur soit compatible avec l'état des sols. Si ça devient trop compliqué, s'il faut décaper… Enfin, c'est logique et puis même du point de vue opérationnel et financier, c'est curieux et couteux de devoir enlever des terres pour y mettre du pâturage. Enfin ça ne serait même pas envisageable. On s'est posé la question en amont, pour le pâturage, car on a des zones qui en ont la vocation. Et comme il y avait des petits sujets de métaux, le plan de gestion a montré que c'était compatible. Mais ça n'aurait pas été compatible, on était prêt à modifier notre barriérage et nos clôtures, car ça aurait été bizarre de faire manger les animaux… Même si du point de vue réglementaire, il n'y a rien qui nous y aurait obligé. Pour les humains et les cultures oui, mais pour les animaux, ce qu'ils regardent c'est le côté sanitaire, par exemple des maladies comme la listéria.

15. **Justement, c'était ma question d'après, est-ce que vous pensez que les élus sont assez sensibles à cette problématique de qualité agronomique des sols ?**

Je ne peux pas dire qu'ils soient… Enfin, ils ne le sont pas directement. C'est vrai qu'ils ont plein d'autres sujets, et on n'évoque pas forcément ces sujets-là, mais ils parlent de ces sujets au niveau de l'agglomération. Donc nous on met en œuvre indirectement sa vision à l'échelle… Et puis aujourd'hui toute l'agriculture urbaine à Nantes est extrêmement mise en avant, donc je dirais que ça va de soi et que ça se décline dans les services ensuite.

16. **Et lors des enquêtes publiques, s'il y a l'idée de faire un jardin familial, est-ce que les usagers se posent la question de la qualité de la terre végétale ?**

Non, et pourtant les jardins ils sont là depuis longtemps, c'est un sujet qui est évoqué depuis longtemps, mais ce n'est pas ressorti. C'est ressorti avec le conseil de la nature en ville qui est plus spécialisé sur ces questions. Bien qu'il n'ait pas trop regardé ces sujets de jardins familiaux, c'était plus sur l'aspect environnemental, espèces protégées, etc.

17. **J'essaie de développer un OAD dans ma thèse à l'attention des aménageurs pour avoir une meilleure prise en compte du sol, mais du point de vue agronomique, dans les projets d'aménagement. Pensez-vous que cet outil doit être un nouvel outil ou préféreriez-vous qu'il soit intégré à un outil que vous utilisez déjà ? Lequel ? Parce que des personnes m'ont déjà répondu qu'il existait aujourd'hui trop de contraintes en aménagement, trop d'outils à prendre en compte, et que ça viendrait complexifier une fois de plus la manière de faire l'urbanisme aujourd'hui ?**

Pour moi c'est complémentaire. Car quand j'ai demandé au BET de faire ces études agronomiques, clairement il m'a dit que ce n'était pas dans ses compétences. Donc ce n'était pas une question financière, mais il aurait fallu en amont, quand je choisis l'AMO, que je leur demande de s'accompagner d'un spécialiste en sol plutôt du point de vue agronomique. Là aujourd'hui, on a quand même eu du mal… Enfin voilà, hier on était avec des éleveurs sur site, qui nous disent « ben voilà, là en fonction de ce qui pousse, ça ne va pas être suffisant pour les animaux ». On voit bien qu'il manque quelque chose, car les personnes qui travaillent concrètement sur le site, et surement les personnes qui cultiveront ensuite les jardins familiaux, on voit bien que le sol ce n'est pas uniquement des polluants, et qu'il peut ne pas y avoir de polluants et une portance géotechnique parfaite et que pourtant rien ne poussera. Donc pour tous les sujets de programmation où l'on aura des questions agricoles, des animaux, etc. et du coup ça veut dire en amont de la ZAC, au même titre pour moi que les études de sol pollution et géotechnie, je pense qu'un volet agronomique est essentiel. Et ça aujourd'hui, je n'ai pas vraiment… Enfin je pense qu'il faut lancer des consultations et puis il y aura des personnes qui vont répondre… Mais c'est à nous de donner des objectifs dans les cahiers des charges. A Nantes on est quand même très avancé, et puis c'est assez nouveau, depuis 2 ans, que l'idée des projets agricoles, de nature en ville, d'agriculture urbaine… Enfin c'est vraiment le discours du maire de Nantes… Je veux dire à un moment ça rentre aussi. Et quand il faut le décliner… Enfin quand on fait venir des éleveurs ils voient tout de suite qu'il y a un truc qui cloche. Hier on a bien vu, il y avait une clairière qui avait été défrichée et sur laquelle on a ressemé, avec telles essences bonnes pour le pâturage, et bien l'éleveur il a eu les yeux qui pétillaient. Alors qu'à un autre endroit, où c'était également de la pelouse, ça n'était pas le cas. Nous on voit de l'herbe. L'éleveur, lui, va dire qu'au premier endroit ses animaux mangent et produisent, et qu'au deuxième endroit, ils mangent juste. Donc on se dit… Il faut donc que je sache quand même est-ce que mon sol va suffir, ou est-ce qu'il faut que j'amende… Là c'est à un moment où tout est déjà presque dessiné, mais je dirais que ça va se décliner. On demande aux opérateurs… certains nous ont proposé d'avoir des jardins forestiers… Car on a beaucoup

d'arbres… Alors ça c'est un autre sujet aussi. On a vite compris que c'était un site où on ne pouvait pas enlever les terres et en ramener, car on avait des arbres. Donc on n'allait pas commencer à aller gratouiller les racines des arbres. Il faut qu'on fasse avec les zones humides et les arbres. Donc finalement le sol on ne peut pas tellement y toucher. Donc à partir de là, il faut qu'on fasse avec. Et néanmoins on veut des jardins familiaux car c'est une politique nantaise et c'est une forte demande des habitants à laquelle on veut répondre. Donc là on a un peu le temps… Donc on se dit… Bon c'est vrai que si toutes les études montraient qu'on ne pouvait rien y faire pousser peut-être qu'on ferait évoluer, mais je pense qu'on va plutôt chercher au maximum à amender, à trouver des solutions pour que ce soit gérable. Mais en tout cas ici, les études amont, on ne se met pas trop de barrières sur les études je dirais… Je mets presque plus de budget dans les études que dans les travaux. Car je fais un maximum d'études pour éviter les travaux après. Car les travaux ce sont des coûts énormes.

18. **Quels seraient pour vous les principaux services écosystémiques rendus par le sol à prendre en compte lorsque vous arrivez sur un site de projet ? Lorsque vous réfléchissez au développement du projet d'aménagement ?**

C'est un support, donc il faut qu'il soit porteur. Donc après les niveaux de portance sont différents si c'est une voie ou… Donc ça c'est essentiel, car ici avec justement tous les projets en bord de Loire, il faut des pieux très profonds, etc. Donc c'est un sujet qu'il faut lever très vite car ça peut être des surcoûts importants. Et puis qui dit sol urbain dit souvent pollution, et ça aussi ça peut-être des surcouts très importants. Donc ce sont deux sujets qui peuvent empêcher un programme de se faire à un endroit précis. En termes de coûts, de prise en compte en amont. Trouver des solutions pour ne pas toucher les sols pollués et que ça suive quoi.

19. **Mettre une note de 0 à 5 en fonction de l'importance de la prise en compte du service rendu par le sol quand vous arrivez sur un site de projet**

Régulation de la qualité de l'air : 3
Régulation du climat : 4
Régulation des aléas naturels : 5
Stockage des déchets : 2
Purification de l'eau : 3
Habitat pour la biodiversité : 5
Biomasse : 4
Ressource ornementale : 3
Energie : 2
Support d'infrastructures et bâtiments : 4
Support d'activités humaines : 4

Annexe 8 : Liste des 12 thématiques considérées lors de l'exploitation des entretiens avec les acteurs de projet des 3 métropoles d'étude

Thématiques considérées	Consigne donnée lors de l'entretien
Définition du sol	Donnez une définition courte et concrète de l'objet « sol » tel que vous le percevez dans votre métier
Considération du sol	Exprimez votre ressenti quant à la manière dont les acteurs de l'aménagement du territoire considèrent le sol
Gestion des matériaux terreux sur site de projet	Quelle importance accordez-vous à la problématique de gestion des matériaux sur site : encouragez-vous leur utilisation sur place ? Limitez-vous les apports de terre végétale ? Avez-vous une connaissance de la qualité du sol arrivant/partant du site ?
Outils existants pour considérer le sol en tant que ressource	Quels sont les outils dont vous disposez actuellement pour connaitre la qualité des sols en place ?
Etudes consultées en amont pour accroitre connaissance sur sol en place	Quelles sont les études que vous consultez en amont pour connaitre la qualité des sols en place ?
Intérêt de l'interdisciplinarité	Considérez-vous l'interdisciplinarité comme importante dans votre métier ? Pourquoi ?
Intérêt de collaborer avec des agro/pédo	Avez-vous déjà travaillé avec des agronomes/pédologues ? Seriez-vous intéressé ?
Intérêt d'effectuer des analyses agronomiques en amont du projet	Avez-vous déjà demandé ou lu des analyses agronomiques ? Sont-elles facilement compréhensibles ? Seriez-vous intéressé de le faire ?
Basculement de point du vue sur la considération du sol urbain	Exprimez votre ressenti quant à la manière dont les acteurs de l'aménagement du territoire considèrent le sol actuellement : il y-a-t-il un changement de regard qui s'opère lié aux problématiques de durabilité et d'économie du foncier et monétaire ?
Sensibilisation des élus	Les élus sont-ils sensibles à l'importance de considérer le sol en aménagement ?
Utilisation de l'OAD	Explication de l'objectif du doctorat et de l'OAD qui doit être développé. Seriez-vous intéressé de l'utiliser ? Quels en seraient les motivations ? Les freins ?
Services rendus par sol prioritaires projet urbain	Listez 3 services rendus par le sol jugés nécessaire pour un projet urbain. Attribuez une note de 0 à 5 à chacun des services que je vais vous lister.

Annexe 9 : Fosses pédologiques ouvertes, décrites et échantillonnées

Biancamaria (MGN)

Technosol Urbic

Technosol Urbic

Technosol Urbic

Technosol Urbic

Technosol Urbic

Plateau de Haye (MGN)

Technosol Spolic

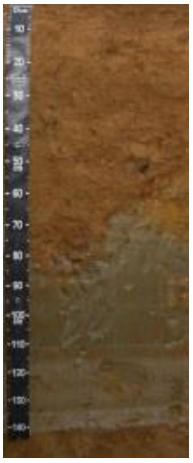
Technosol Spolic

Technosol Spolic

Technosol Spolic

Haie Cerlin (MGN)

Stagnosol Gleyic, Calcic, Hypereutric


Stagnosol Gleyic, Calcic, Hypereutric

Stagnosol Gleyic, Calcic, Hypereutric

Stagnosol Gleyic, Calcic, Hypereutric

Stagnosol Gleyic, Calcic, Hypereutric

MJC des 3 Maisons (MGN)

Anthrosol
Hortic, Pretic

Anthrosol
Hortic, Pretic

Anthrosol
Hortic, Pretic

Euromed (MAMP)

Technosol
Urbic

Technosol
Technoleptic
Urbic

Technosol
Technoleptic
Urbic

Plan d'Aou (MAMP)

Technosol

Technosol

Technosol

Sainte Marthe (MAMP)

Cambisol
Calcaric, Hypereutric

Cambisol
Calcaric, Hypereutric

Cambisol
Calcaric, Hypereutric

La Jaguère (NM)

Cambisol
Stagnic, Eutric

Cambisol
Stagnic, Eutric

Cambisol
Stagnic, Eutric

Planosol
Glossic, Eutric

La Boissière (NM)

Cambisol
Stagnic, Hypereutric

Cambisol
Stagnic, Hypereutric

Cambisol
Stagnic, Hypereutric

Champ de Manœuvre (NM)

Planosol
Eutric

Planosol
Glossic, Eutric

Planosol
Glossic, Eutric

Annexe 10 : Fiche de description mise au point à partir des tables DONESOL (INRA, 2001) et adaptée au contexte des sols urbains ayant servie d'exemple pour les campagnes de description des sols réalisées sur les 10 sites de projets urbains

PROFIL n°					
Date					
Conditions d'observation					
Couverture du sol					
% imperméabilisation					
% végétation					
Nature de la végétation					
Profondeur du profil					
Nombre d'horizons					
HORIZON n°	1	2	3	4	5
Profondeur limite inférieure (cm)					
Structure					
Texture					
Compacité (0-4)					
Couleur					
Eléments grossiers (%)					
Nature des éléments grossiers					
Artéfacts (%)					
Nature des artéfacts					
Traces d'hydromorphie (%)					
Activité biologique (0-4)					
Traces de pollution					
Odeur					
Remarques					
TYPOLOGIE					
Matériau imperméable					
Matériau terreux végétalisable					
Matériau pour valorisation en géotechnie					
Matériau non valorisable					

Annexe 11 : Liste des paramètres physico-chimiques analysés pour chaque échantillon de sol prélevé

Code	Libellé
@ SOL-0102	Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)
@ SOL-0103	Préparation des sols (NF ISO 11464)
@ SOL-0201	Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg
@ SOL-0304	Granulométrie 5 fractions après décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg
@ SOL-0405	Carbone (C) organique et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg
@ SOL-0501	pH eau (NF ISO 10390)
@ SOL-0504	Calcaire (CaCO3) total (NF ISO 10693) - g/kg
@ SOL-0505	Calcaire (CaCO3) actif (NF X 31-106) - g/100g
@ SOL-0604	Phosphore (P2O5) - méthode Olsen (NF ISO 11263) - g/kg
@ SOL-0701	Capacité d'échange cationique méthode Metson (NF X 31-130) - cmol+/kg
@ SOL-0709	Extraction au chlorure de cobaltihexammine (NF ISO 23470)
@ SOL-0719	Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexammine (ICP-AES/EAF) (NF ISO 23470) - cmol+/kg
@ SOL-1001	Mise en solution totale par HF (NF X 31-147)
@ SOL-1031	ICP3-Eléments totaux HF : Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P2O5 (ICP-AES) (NF X 31-147/NF ISO 22036)
SOL-0101	Prise en charge de l'échantillon
SOL-1502	Extraction à l'eau 1/5 (méth. INRA)
SOL-1505	Conductivité totale sur extrait 1/5 (m/v) à 25°C (méth. INRA) - mS/cm

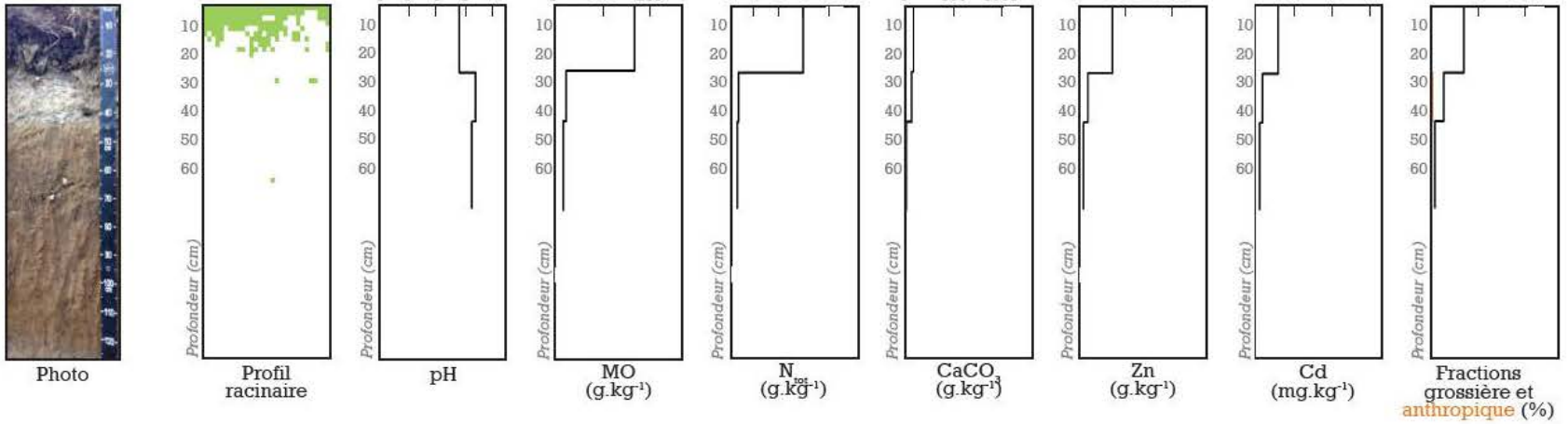
Annexe 12 : Exemple de fiche synthétique de résultats d'analyses de sol

Localisation des profils pédologiques © *Google Maps*

Nom du profil de sol			Blancamarla - Profil A		
N° horizon			1	2	3
Epaisseur de l'horizon		cm	25	18	22
Observations de terrain	Pente	%	0		
	Profondeur de sol	cm	75		
	Couleur	-	brun foncé	brun	brun
	Densité racinaire	%	40	1	0
	Traces d'activité biologique	-	forte	faible	absence
	Structure	-	grumeleuse	compacte/fondue	compacte/fondue
	Texture	-	limoneuse	limoneuse	limoneuse
	Compacité	-	faible	forte	moyenne
	Elements grossiers	%	35,4	13,5	3,7
	Artéfacts	%	0,1	1,1	0,2
	Hydromorphoe	-	absence	absence	absence
	Traces de pollution	-	absence	absence	absence
Analyses matériaux terreux végétalisables	pH	-	7,9	8,5	8,3
	Phosphore (P_{Olsen})	$g.kg^{-1}$	0,168	0,049	0,042
	Matière organique (MO)	$g.kg^{-1}$	169,0	24,7	18,1
	Azote total (N_{tot})	-	6,1	0,7	0,6
	Carbone sur Azote (C/N)	$g.kg^{-1}$	16,1	21,2	18,4
	Calcaire ($CaCO_3$)	$g.kg^{-1}$	85	62	4

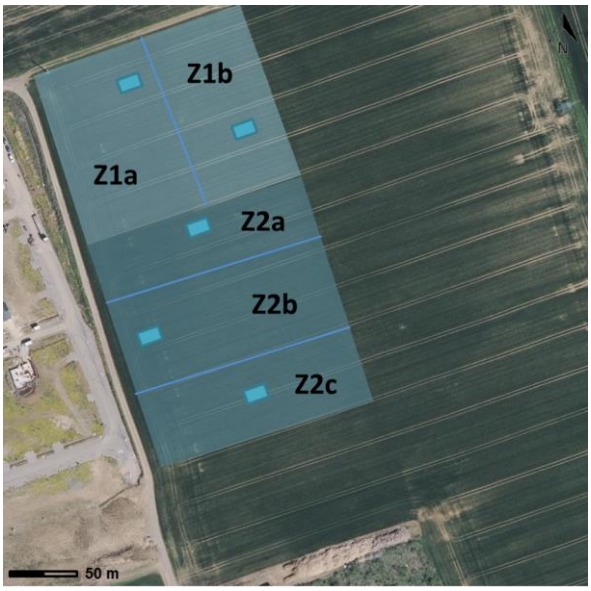
Tableau analytique - Résultats des observations terrains et analyses en laboratoire

Profil A — Urbic **Technosol** (Humic, Hyperartefactic, Hypereutric, Hypocalcic, Transportic)



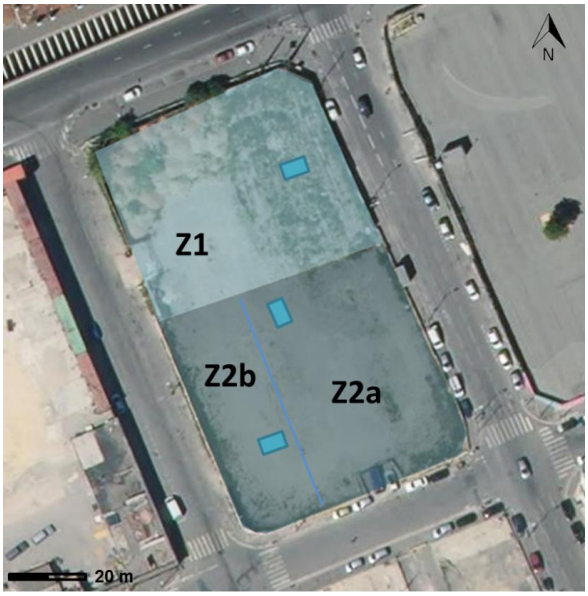
<u>Annexe 13</u> : Zonage des sols homogènes et localisation des fosses pédologiques des sites de projets urbains

Zonage des sols homogènes du site du Plateau de Haye (MGN) et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*

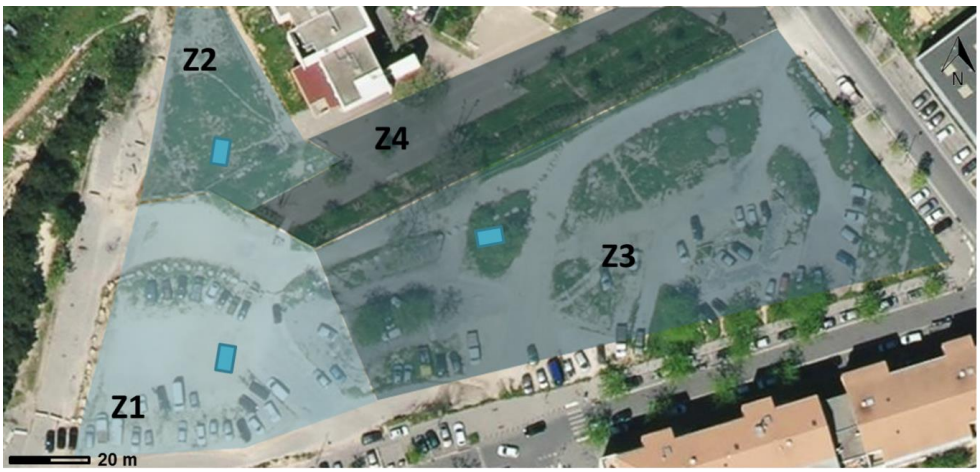


Zonage des sols homogènes du site de la Haie Cerlin (MGN) et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*

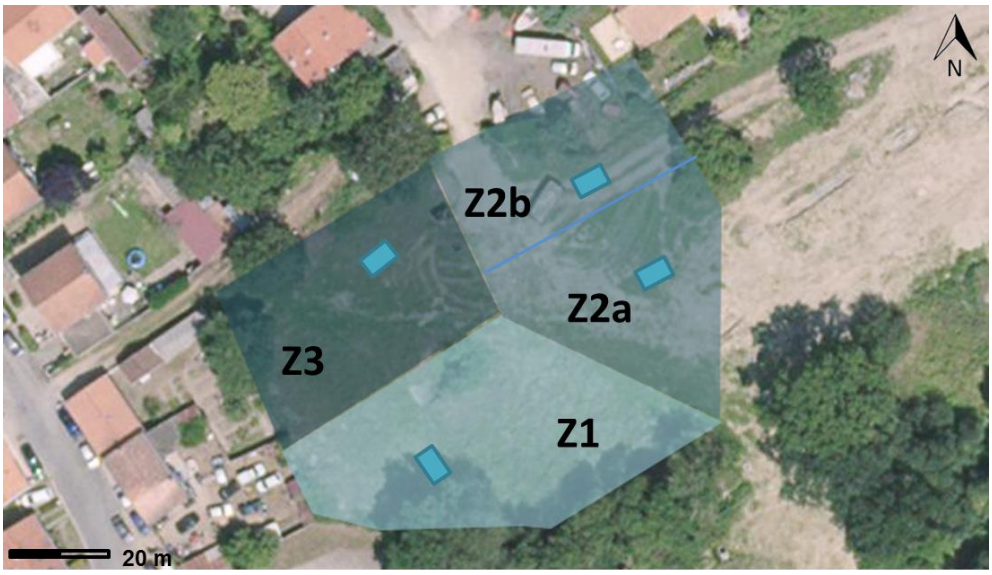
Zonage des sols homogènes du site de la MJC des 3 Maisons (MGN) et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*



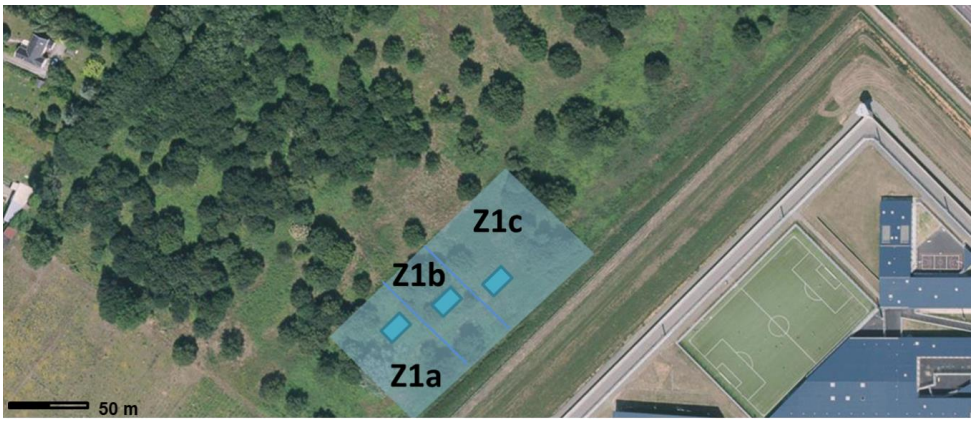
Zonage des sols homogènes du site d'Euromed (MAMP) et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*



Zonage des sols homogènes du site du Plan d'Aou (MAMP) et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*



Zonage des sols homogènes du site de La Jaguère (NM) et localisation des fosses pédologiques, *Google Maps*



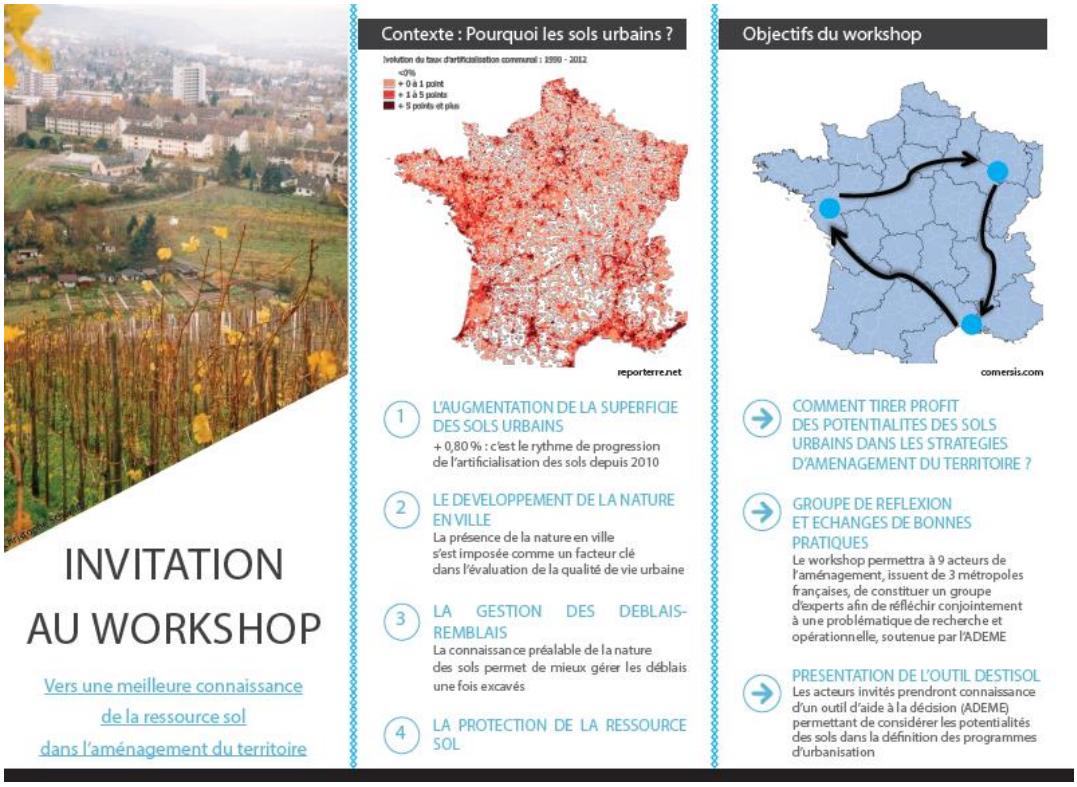
Zonage des sols homogènes du site de Champ de Manœuvre (NM) et localisation des fosses pédologiques, *Google Map*

Annexe 14 : Définition des services écosystémiques évalués par l'outil Destisol

- **Régulation de la qualité de l'air** : les sols et les végétaux, du fait de leurs surfaces d'échange élevées, contribuent à la fixation des polluants (métaux lourds, HAP, NOx et SOx) émis par les activités humaines ;
- **Régulation du climat local** : les sols et les végétaux contribuent à des mécanismes d'évaporation ou de transpiration de l'eau ainsi qu'à la réflexion des rayons du soleil, participant ainsi à la diminution du phénomène d'ilot de chaleur urbain (températures plus élevées en milieu urbain) ;
- **Régulation du climat global** : les sols et les végétaux constituent les principaux réservoirs continentaux de carbone. A ce titre ils permettent de piéger des gaz à effets de serre, limitant ainsi le réchauffement climatique ;
- **Régulation des inondations** : les sols constituent la principale interface entre l'eau atmosphérique et les masses d'eaux superficielles et souterraines. Ce sont eux – en fonction de leurs propriétés intrinsèques, mais également de leur couverture (en particulier la présence d'un scellement, fréquent en milieu urbain en surface ou en profondeur) – qui permettent l'infiltration de l'eau. Leur rôle, de même que celui des végétaux dans une moindre mesure, est ainsi primordial dans l'atténuation des inondations lors de précipitations de forte intensité ;

- **Régulation de l'érosion** : l'érosion, c'est-à-dire l'ablation des couches superficielles du sol et du déplacement de ces éléments sous l'action de l'eau, du vent, des rivières, des glaciers ou de l'Homme est un processus qui peut conduire à la dégradation d'écosystèmes et d'infrastructures en aval. Au même titre que les conditions climatiques, la topographie, l'usage du sol et sa couverture (*e.g.* végétation, infrastructures) et les propriétés intrinsèques des sols conditionnent l'intensité du phénomène d'érosion ;
- **Stockage des déchets** : les sols peuvent jouer le rôle de réceptacle de déchets issus des activités humaines. Ce stockage peut être intentionnel ou non, il peut également être aménagé (mise en place d'équipements pour limiter les risques de transferts de contaminants provenant des déchets) ou non. Dans tous les cas, certaines propriétés intrinsèques du sol (*e.g.* présence de couches imperméables en profondeur) lui permettent de rendre ce service de manière plus ou moins satisfaisante ;
- **Purification de l'eau** : comme évoqué précédemment les sols - et la végétation – constituent une interface incontournable dans le cycle de l'eau, jouant un rôle de filtre et de surface d'échange. En fonction de leurs propriétés intrinsèques, ils sont susceptibles de dégrader ou d'améliorer la qualité de l'eau qui percolent en leur sein. Le service de purification est défini comme la capacité d'un sol à améliorer cette qualité ;
- **Habitat pour la biodiversité** : considérer la fourniture d'un habitat pour la biodiversité en tant que service écosystémique et non comme fonction a été âprement discutée dans la littérature scientifique. Dans le cas des sols urbains, il a semblé pertinent de considérer comme tel la capacité d'un sol à héberger et à offrir un habitat pour les organismes vivants du fait de ses propriétés ;
- **Approvisionnement en aliments** : les sols constituent le support sur lequel est cultivée la végétation destinée à la consommation humaine et animale. En milieu urbain, il s'agit essentiellement de pratique de maraîchage et de jardinage. La fertilité des sols, c'est-à-dire leur capacité à fournir un ancrage et des nutriments aux plantes dépend d'un ensemble de propriétés intrinsèques du sol en sus des pratiques d'entretien et d'amendement mises en œuvre par l'Homme ;
- **Approvisionnement en ressources ornementales** : une des spécificités des sols urbains est d'être fréquemment utilisés comme support de production végétale à vocation esthétique et paysagère. Ce service dépend de la fertilité du sol tel qu'évoquée précédemment. Il a également été décidé de distinguer les différentes strates de végétation (herbacée, arbustive, arborée) du fait des différents niveaux d'exigence en termes d'enracinement ;
- **Approvisionnement en énergie** : dans le contexte de l'étude, seule la production de biomasse à vocation énergétique a été considérée. Cette dernière repose à nouveau sur la fertilité du sol ;
- **Approvisionnement en support physique d'infra/super structures** : ce service apparaît comme une spécificité des sols urbains qui sont largement utilisés par l'Homme comme support d'infrastructures diverses. Ce service dépend également de certaines propriétés intrinsèques du sol. Il a de nouveau été décidé de distinguer différentes catégories d'infrastructures en fonction de leur niveau de contraintes spécifiques ;
- **Approvisionnement en support d'activités sensibles** : certaines propriétés du sol, en particulier son niveau de contamination, peuvent rendre impossible certains usages et donc certains services attendus, comme l'accueil de population sensibles (*e.g.* établissement scolaire, centre de soins).

Annexe 15 : Plaquette d'invitation et de programmation de l'atelier sur les sols urbains envoyée aux acteurs de l'urbanisme opérationnel



Première triple-page de la plaquette d'information

Deuxième triple-page de la plaquette d'information

Annexe 16 : Liste des acteurs de l'aménagement participant à l'atelier sur les sols urbains

Aire urbaine	Projet	Profession	Organisme
MGN	B	MOE	Intensité architecture
	PH	MOA	Grand Nancy
	HC	Aménageur	SOLOREM
MAMP	E	Aménageur	EUROMED
	PA	MOE	Atelier Wagon
	SM	MOA	Ville de Marseille
NM	LJ	MOE	SCE
	LB	MOE	Ville de Nantes

Annexe 17 : : Notes attribuées par Destisol aux fonctions relatives au support pour l'ensemble des profils de sols étudiés (n=37) - Les notes peuvent prendre des valeurs comprises entre 0 et 0,9 (rouge) (fonction non remplie), 1 et 1,9 (orange), 2 et 2,9 (jaune) et 3 (vert) (fonction totalement remplie)

Sites	Support de voiries légères	Support de voiries lourdes	Support de bâtiments sur fondation légères	Support de réseaux divers
MGN-B – Z1a	**1,5**	**2,1**	**1,8**	**2,5**
MGN-B – Z1b	**1,5**	**2,3**	**2,0**	**2,2**
MGN-B – Z2	**2,2**	**2,2**	**2,3**	**2,3**
MGN-B – Z3	**1,8**	**1,7**	**1,8**	**2,1**
MGN-B – Z4	**2,2**	**2,4**	**2,4**	**2,6**
MGN-PH – Z1a	**1,9**	**2,2**	**2,0**	**2,1**
MGN-PH – Z2a	**1,6**	**1,9**	**0,0**	**2,4**
MGN-PH – Z2b	**1,8**	**2,4**	**0,0**	**2,6**
MGN-PH – Z1b	**1,5**	**2,0**	**1,7**	**2,6**
MGN-HC – Z1a	**2,0**	**2,4**	**0,0**	**2,5**
MGN-HC – Z1b	**2,2**	**2,3**	**0,0**	**2,6**
MGN-HC – Z2a	**1,6**	**2,2**	**0,0**	**2,3**
MGN-HC – Z2b	**2,0**	**2,6**	**0,0**	**2,6**
MGN-HC – Z2c	**1,6**	**2,2**	**0,0**	**2,5**
MGN-MJC – Z1	**1,2**	**2,2**	**1,7**	**2,6**
MGN-MJC – Z2	**1,7**	**2,5**	**2,1**	**3,0**
MGN-MJC – Z3	**1,5**	**2,4**	**2,0**	**2,7**
MGN-MJC – Z4	**1,8**	**1,9**	**1,6**	**2,5**
MAMP-E – Z1	**1,5**	**1,7**	**1,6**	**2,1**
MAMP-E – Z2a	**1,8**	**1,9**	**0,0**	**2,2**
MAMP-E – Z2b	**2,2**	**2,2**	**2,3**	**2,5**
MAMP-PA – Z1	**2,2**	**2,1**	**0,0**	**2,1**
MAMP-PA – Z2	**1,1**	**1,6**	**0,0**	**2,1**
MAMP-PA – Z3	**1,5**	**1,9**	**0,0**	**2,1**
MAMP-SM – Z1	**1,5**	**2,3**	**0,0**	**2,5**
MAMP-SM – Z2	**1,2**	**2,2**	**1,7**	**2,6**
MAMP-SM – Z3	**1,4**	**2,3**	**2,1**	**2,6**
NM-LJ – Z1	**1,5**	**2,5**	**0,0**	**2,4**
NM-LJ – Z2a	**1,6**	**2,4**	**2,1**	**2,3**
NM-LJ – Z2b	**1,7**	**2,3**	**1,9**	**2,2**
NM-LJ – Z3	**1,5**	**2,6**	**2,1**	**2,4**
NM-LB – Z1	**1,5**	**2,1**	**1,7**	**2,1**
NM-LB – Z3a	**1,6**	**2,1**	**1,7**	**2,1**
NM-LB – Z3b	**1,3**	**2,1**	**1,8**	**2,1**
NM-CM – Z1a	**1,6**	**2,5**	**2,3**	**2,6**
NM-CM – Z1b	**1,6**	**2,5**	**2,2**	**2,4**
NM-CM – Z1c	**1,6**	**2,6**	**2,2**	**2,3**

Vers une prise en compte des potentialités des sols dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel

Le développement des aires urbaines induit une amplification des enjeux environnementaux (*e.g.* qualité de l'air, îlot de chaleur urbain, inondation). Pour apporter une réponse à ces défis, la fabrique urbaine intègre progressivement les fonctions assurées par les écosystèmes urbains. Cependant, cette considération semble négliger les services écosystémiques rendus par la composante « sol » des aires urbaines. A ce titre, l'objectif du doctorat est d'appréhender les apports d'une prise en compte avancée des potentialités des sols urbains dans la planification territoriale et l'urbanisme opérationnel. Une enquête nationale auprès d'acteurs de la planification territoriale et des entretiens individuels avec des professionnels de l'urbanisme opérationnel ont été menés. Il en ressort que ces acteurs ont commencé à développer une considération systémique des sols urbains, dépassant leur vision initiale du sol comme simple surface foncière. Afin de formaliser la manière de prendre en compte les potentialités des sols urbains, des campagnes d'échantillonnage de sols ont été réalisées sur 10 sites de projets localisés au sein de trois aires urbaines aux contextes pédoclimatiques différents (Métropole du Grand Nancy, Métropole d'Aix-Marseille Provence, Nantes Métropole). Une description de profils de sols et leur caractérisation physico-chimique ont permis d'appréhender leur état et de mener une étude comparative de leur qualité. Il s'avère que près de la moitié des sols urbains étudiés n'étaient pas des sols fortement anthropisés (*e.g.* Anthrosols, Technosols) et étaient analogues à des sols agricoles voisins. Ils présentaient une très grande hétérogénéité de leurs propriétés, rendant complexe leur appréhension par les acteurs de la fabrique urbaine. Les données pédologiques ont alors été intégrées dans un outil d'aide à la décision, afin de les traduire en capacité des sols à assurer des fonctions et rendre des services écosystémiques. Il s'est avéré que les sols fortement anthropisés pouvaient présenter des niveaux de services écosystémiques équivalents, voire supérieurs, à ceux fournis par certains sols agricoles, pouvant répondre aux enjeux environnementaux, sociaux voire économiques des aires urbaines. L'intégration de ces informations lors de différentes étapes de mise en œuvre d'un projet urbain peut contribuer à améliorer la durabilité des aires urbaines, en optimisant l'usage des sols urbains et en préservant les plus multifonctionnels d'entre eux.

Mots clefs : pédologie urbaine, aménagement du territoire, projet urbain, services écosystémiques, outil d'aide à la décision, interdisciplinarité

Towards taking into account the potential of soils in urban planning

Urban areas, in addition to global environmental issues, concentrate major local environmental concerns such as air quality, urban heat island and flood mitigation. To tackle those issues, every land surface should be considered as a potential supplier of ecosystem services. However, the urban soils contribution remains poorly assessed up to now. As a result, there is a strong lack of consideration by urban planning of the services that urban soils could provide. So, the main goal of this PhD is to propose a methodology that facilitates an advanced integration of urban soils potentials in urban planning. A national survey and some individual interviews with actors of urban planning were conducted. These actors have progressively developed a systemic consideration of urban soils, and do not yet consider them only as land surfaces. Then, soil sampling campaigns were carried out on 10 urban projects, located in three urban areas with contrasted pedoclimatic contexts (Métropole du Grand Nancy, Métropole Aix-Marseille Provence, Nantes Métropole). The description of the pedological pits and the physico-chemical characterization of soil samples led us to conduct a comparative study of their quality. It appears that 49% of the studied soils were not highly anthropized soils (*e.g.* Anthrosols, Technosols) and presented bio-physico-chemical properties which were similar to surrounding agricultural soils. The results also showed that the highly anthropized soils presented a high variation of their properties. The results of the physico-chemical characterization had been feed into a decision support tool. This DSS could evaluate the capacity of an urban soil to provide some fonctions and ecosystem services. It appears that the highly anthropized soils were able to provide levels of ecosystem services that were equivalent to, or even higher, than those provided by agricultural soils. In result, it has been demonstrated that urban soils could provide some ecosystem services in order to answer to environmental, social and economic challenges. So, the consideration of the potential of soils in an urban project could contribute to improve sustainability of cities, by optimizing the uses of urban soils and preserving the most multifunctional.

Key words: urban pedology, urban development, urban project, ecosystem services, decision support tool, interdisciplinary