



Valorisation du sol de plantation en milieu urbain pour des aménagements paysagers

Alix Tetelin

► To cite this version:

Alix Tetelin. Valorisation du sol de plantation en milieu urbain pour des aménagements paysagers. Sciences agricoles. 2016. dumas-01394265

HAL Id: dumas-01394265

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01394265>

Submitted on 9 Nov 2016

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.

**AGROCAMPUS
OUEST**

☐ CFR Angers

☐ CFR Rennes



Année universitaire : 2015.- 2016

Spécialité : Paysage

Spécialisation (et option éventuelle) :

Maîtrise d'œuvre et Ingénierie

Mémoire de Fin d'Études

☐ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

Valorisation du sol de plantation en milieu urbain pour des aménagements paysagers

Par : Alix TETELIN

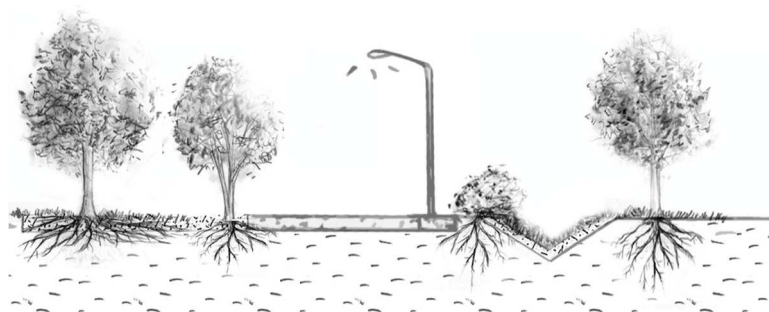
Soutenu à Angers le 12 Octobre 2016

Devant le jury composé de :

Président : Mme Fanny Romain

Maître de stage : M. Aurélien Adam

Enseignant référent : M. David Montembault



Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'Agrocampus Ouest

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu Aurélien ADAM, responsable de l'agence Vu d'Ici, et toute son équipe, pour leur accueil lors de ce stage de fin d'Etudes. Je remercie également Isabelle LEROUX, qui a assuré mon suivi tout au long de ces six mois.

Mes remerciements et le témoignage de ma reconnaissance s'en vont vers l'ensemble du corps enseignant et du personnel d'AgroCampus-Ouest pour leur accompagnement, leur apport de connaissances et de réflexions sur l'ensemble des thématiques relatives au paysage durant mes trois ans de formation.

Merci en particulier à David MONTEMBault, pour m'avoir suivi et conseillé tout au long de ce stage, notamment pour la rédaction de ce mémoire marquant la fin de ma formation.

Patrice CANNAVO, enseignant à l'AgroCampus-Ouest, pour ses conseils et son apport de connaissances relatif à mon sujet de mémoire.

Enfin, je tiens à remercier Sylvain RULLIER, du Bureau d'Etudes Sol Paysage, et Emmanuel BOURGUIGNON du LAMS pour leur disponibilité et leur aide qui m'ont été précieuses pour l'aboutissement de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	3
TABLE DES MATIERES	1
GLOSSAIRE ET LISTE DES ABREVIATIONS.....	3
LISTE DES FIGURES.....	3
LISTE DES TABLEAUX	4
 INTRODUCTION	 1
 1 LE SOL, UNE RESSOURCE RARE À PRÉSERVER	 3
1.1 UNE UTILISATION DÉRAISONNABLE DE LA RESSOURCE EN SOL	3
1.1.1 <i>L'artificialisation du territoire se fait au détriment des terres arables</i>	<i>3</i>
1.1.2 <i>L'impact négatif de l'agriculture conventionnelle sur la qualité des sols.....</i>	<i>4</i>
1.2 DES PERTURBATIONS SUR NOTRE ENVIRONNEMENT EN RÉPONSE AU GASPILLAGE DE LA RESSOURCE SOL	4
1.2.1 <i>Des effets bloquants pour l'eau et la biodiversité</i>	<i>4</i>
1.2.2 <i>Des conséquences non négligeables sur notre environnement.....</i>	<i>4</i>
1.3 UN CHANGEMENT NÉCESSAIRE DANS L'USAGE ET LA GESTION DES SOLS	6
 2 LE SOL : UN MILIEU VIVANT PRIMORDIAL POUR LE VÉGÉTAL.	 7
2.1 LE SOL VU PAR LA PÉDOLOGIE	7
2.1.1 <i>La composition du sol :.....</i>	<i>8</i>
2.1.2 <i>La fertilité physique du sol.....</i>	<i>9</i>
2.1.3 <i>La fertilité biologique du sol.....</i>	<i>11</i>

2.1.4 <i>La fertilité chimique du sol.....</i>	<i>12</i>
2.2 LES BESOINS NUTRITIFS DU VÉGÉTAL DANS LE SOL.....	13
2.3 LES FACTEURS LIMITANT POUR LE DÉVELOPPEMENT DU VÉGÉTAL EN MILIEU ARTIFICIALISÉ.....	16
2.4 QUELS CRITÈRES POUR L'AMÉLIORATION DES SOLS ?	17

3 QUELLES SOLUTIONS APPORTER AUX AMÉNAGEURS POUR UNE AMÉLIORATION DURABLE DES SOLS ?

3.1 ENVISAGER LA TEMPORALITÉ DU PROJET POUR L'AMÉLIORATION DU SOL	18
3.1.1 <i>Etat initial.....</i>	<i>18</i>
3.1.2 <i>Terrassement et nivellement.....</i>	<i>19</i>
3.1.3 <i>Stockage en andain.....</i>	<i>20</i>
3.1.4 <i>Préparation</i>	<i>21</i>
3.1.5 <i>Amendements et plantations</i>	<i>22</i>
3.1.6 <i>Gestion pérennisation.....</i>	<i>23</i>
3.2 PRÉSENTATION DE DEUX APPROCHES COMPLÉMENTAIRES POUR L'AMÉLIORATION DES SOLS.....	24
3.2.1 <i>La méthode du bureau d'études Sol Paysage : une approche basée sur la caractérisation fine des sols par couches</i>	<i>24</i>
3.2.1.a Diagnostic du sol en place.....	24
3.2.1.b Choix du sens de l'adaptation : adapter le sol au projet, ou le projet au sol ?.....	27
3.2.1.c Gestion des matériaux et terrassements selon Sol Paysage	28
3.2.2 <i>La méthode du Laboratoire d'Analyse Microbiologique des sols : une approche globale par la biologie pour l'amélioration des sols.</i>	<i>28</i>
3.2.2.a Observations de terrain et analyses en laboratoire	29
3.2.2.b Itinéraire général pour l'amélioration d'un sol dans un projet d'aménagement paysager en milieu urbain..	30

3.3	L'AMÉLIORATION DU SOL DANS D'AUTRES CONTEXTES : OBSERVATION DE SOLUTIONS EXPÉRIMENTALES COMPLÉMENTAIRES	31
3.3.1	<i>L'amélioration d'un sol dans un projet d'aménagement d'un domaine skiable.....</i>	<i>31</i>
3.3.2	<i>Des sols noirs fertiles en Amazonie grâce à l'utilisation du biocharbon</i>	<i>32</i>
3.3.3	<i>Facilitation de la recolonisation biologique des sols de plantations au contact d'une « trame brune ».....</i>	<i>32</i>
3.3.4	<i>L'amélioration biologique des sols par des amendements organiques.....</i>	<i>33</i>
3.3.4.a	Compost	33
3.3.4.b	Bois Raméal Fragmenté (BRF).....	34
3.4	MISE EN PLACE D'UN OAD POUR L'AMÉLIORATION DU SOL DANS UN AMÉNAGEMENT PAYSAGER.....	34
4	MISE EN APPLICATION DE L'OAD POUR LA VALORISATION DU STOCK DE TERRE VÉGÉTALE DE LA ZAC DES ONGROIS.....	39
4.1	LES ENJEUX ET LES ATTENTES DU PROJET : UNE PALETTE VÉGÉTALE DIVERSIFIÉE	39
4.2	ENJEU ET DIAGNOSTIQUE : VALORISER UN SOL SABLEUX REMANIÉ ET NON FERTILE.....	39
4.3	RECOMMANDATIONS ET SOLUTIONS PRÉCONISÉES SUITE À L'UTILISATION DE L'OAD	40
	CONCLUSION	41

BIBLIOGRAPHIE.....	43
SITOGRAPHIE	46
ENTRETIEN, COMMUNICATION ORALE	46
ANNEXE I – CYCLE DU CARBONE DANS LES SOLS (RAZAFIMBELO-ANDRIAMIFIDY, 2011)	I
ANNEXE II – FORMATION DE L'HUMUS ERECTUS (SOLTNER, 1992)	II
ANNEXE III – FICHE DE PROFIL RÉALISÉE PAR SOL PAYSAGE POUR LE SITE DE CHENNEVIERES-SUR-MARNE (RULLIER, 2016).....	III
ANNEXE IV – DIFFERENTS EXEMPLES DE CARTOGRAPHIE DE SOLV	IV
ANNEXE V – CARTOGRAPHIE DES DIFFERENTS ZONAGES AVEC L'INDICATION DES FERTILITÉS ASSOCIÉES (RULLIER, 2016).....	VIII
ANNEXE VI – EXEMPLE DE BILAN DES QUANTITÉS DE MATÉRIAUX DISPONIBLES ET NÉCESSAIRES POUR UN PROJET D'AMÉNAGEMENT PAYSAGER (BOURGUIGNON, 2014)	IX
ANNEXE VII – SITE DE LA ZAC DES ONGROIS À ECOUFLANT (VU D'ICI)	X
ANNEXE VIII – PLAN DE REPÉRAGE DE LA TRANCHE 1 DE LA ZAC DES ONGROIS (VU D'ICI)	XI
ANNEXE IX – PLAN DE PLANTATION (VU D'ICI).....	XII
ANNEXE X – RÉSULTAT ANALYSE DE TERRE ZAC DES ONGROIS	XIII
ANNEXE XI – OAD APPLIQUE A LA ZAC DES ONGROIS (TETELIN, 2016)	XIV

GLOSSAIRE ET LISTE DES ABREVIATIONS

BRF : Bois Raméal Fragmenté

C/N : Rapport carbone sur azote

CAH : Complexe argilo-humique : aussi appelé "complexe adsorbant",

CEC : Capacité d'Echange en Cations

ETM : Elément trace métallique

GES : Gaz à effet de serre

MO : Matière organique

MOE : Maîtrise d'œuvre

MOF : Matière organique fraîche

NPK : Azote, Phosphore et Potassium

OAD : Outil d'aide à la décision

SIG : Système d'information géographique

TV : Terre végétale

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Histoire du sol et évolution de l'occupation du sol depuis les trente dernières années (Tételin, 2016)	6
Figure 2 – Formation générale d'un sol (Forget, 2013)	8
Figure 3 – Classification triangulaire des sols fins (Degoutte & Royet, 2009)	10
Figure 4 – Typologies de structures (Tételin d'après (Delaunois, 2008))	11
Figure 5 – Principaux types de structure (Delaunois, 2008)	11
Figure 6 – Décomposition de la MO fraîche (Duchaufour, 1984)	12
Figure 7 – Composition des matières organique du sol (Gaillard, 2001)	12
Figure 8 – Constitution idéale d'un sol d'après le LAMS ([3])	13
Figure 9 – Rôle des éléments nutritifs ([4])	14
Figure 10 - Variabilité de la teneur en MO pour différents horizons et sur différents sols (Rullier, 2016)	15
Figure 11 – Développement racinaire et contrainte du sol urbain (Tételin, 2016)	16
Figure 12 – Principaux indicateurs de qualité d'un sol (Tételin d'après Gros (2002))	17
Figure 13 –Phase 1 : Observation de l'occupation du sol initial du projet et facteurs limitant présumés (Tételin, 2016)	18
Figure 14 –Phase 2 : Quelle gestion et quel stockage de la terre ? (Tételin, 2016)	19
Figure 15 – Phase 3 : Mise en œuvre du stockage (Tételin, 2016)	20
Figure 16 – Itinéraire technique de stockage (Rullier, 2016)	20
Tableau 3 – Règles professionnelles de stockage des terres en andain (Rullier, 2016)	21
Figure 17 – Phase 4 : Mise en œuvre et préparation des sols de plantation (Tételin, 2016)	21
Figure 18 – Phase 5 : Mise en œuvre des plantations (Tételin, 2016)	22
Figure 19 – Phase 6 : Ajuster la gestion de la pérennisation des plantations (Tételin, 2016)	23
Figure 20 – Exemple de cartographie avec localisation des points de prélèvement associés aux observations réalisées (Rullier, 2016)	25
Figure 21 – Cartographie des ressources disponibles sur le site de la ZAC Mermoz Nord Lyon (Rullier, (2016))	26
Figure 22 - Exemple de cartographie d'interprétation des zones de fertilité du sol dans un projet d'aménagement (Rullier, 2016))	27
Figure 23 - Profil d'un sol de référence pour des plantations (Rullier, 2016)	28

<i>Figure 24 – Schématisation des itinéraires d'amélioration du sol (Rullier, 2016)</i>	28
<i>Figure 25 – Réalisation d'une fosse d'étude d'un terrain en friches en région Nantaise (source confidentielle)</i>	29
<i>Figure 26 - Compaction en fonction de la profondeur d'un profil (source confidentielle)</i>	29
<i>Figure 27 - Etapes techniques du terrassement des pistes de ski (Gros, 2002)</i>	31
<i>Figure 28 – OAD pour l'amélioration du sol au sein d'aménagements paysagers (Tételin, 2016)</i>	35
<i>Figure 29 - Fiche recommandations n°1 (Tételin, 2016)</i>	36
<i>Figure 30 - Fiche recommandations n°2 (Tételin, 2016)</i>	37
<i>Figure 31 - Fiche solutions (Tételin, 2016)</i>	38

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 – Gammes de valeurs des paramètres clés d'un sol pour le développement optimal du végétal en milieu urbain d'après EPHor</i>	14
<i>Tableau 2 – Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008)</i>	15
<i>Tableau 3 – Règles professionnelles de stockage des terres en andain (Rullier, 2016)</i>	21

INTRODUCTION

Mince pellicule, de quelques centimètres à quelques mètres, située à l'interface de la lithosphère, de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la biosphère, le sol résulte de l'altération de la roche-mère sous l'effet du climat et de l'activité biologique (Girard et al., 2011). Ce processus s'étend sur plusieurs millénaires ce qui fait du sol une ressource particulièrement fragile puisque non renouvelable à l'échelle humaine (Burrow, 2015). En conséquence, sa protection doit faire l'objet de la plus grande attention. La Convention européenne du paysage, entrée en vigueur en 2004 a pour objet de « promouvoir la protection, la gestion et l'aménagement des paysages » ([1]).

Dans le contexte actuel d'aménagement du territoire, en France, notamment depuis le second Grenelle de l'environnement, les acteurs de l'aménagement ont pour mission d'aménager durablement le territoire. A travers une récente politique de densification urbaine, les aménagements paysagers ont un rôle clé à jouer. Les liens sociaux qu'ils apportent, leurs bienfaits sur l'environnement urbain et la santé ne sont plus à prouver. Le végétal remplit la majorité de ces fonctions et apporte une réelle plus value aux espaces, par les aménités paysagères et environnementales qu'il procure.

Les aménagements au sein de communes peuvent être de natures extrêmement diverses ([2]) :

- Urbains ou périurbains : places, rues piétonnières, habitats collectifs, entrées de communes, squares et jardins, politique de réhabilitation et d'intégration urbaine, pré-verdissement, jardins familiaux, exploitation d'anciens terrains agricoles ;
- Ruraux : mise en valeur (aménagements fonciers et hydrauliques), remembrements (sol agricoles),

reboisements, friches, aménagements de cours d'eau ou plans d'eau ;

- Valorisation du patrimoine : jardins et parcs historiques, sites, littoraux, montagnes
- Réhabilitation de lieux dégradés : friches industrielles, carrières, gravières, terrils, décharges
- Aménagements de zones industrielles, portuaires
- Aménagements de jardins privés

Quelle que soit la nature du site, le leitmotiv d'un projet d'aménagement est de révéler le socle, c'est à dire de réaliser un diagnostic pointu des différents éléments et événements qui agissent et interagissent avec l'espace sur ce socle, pour en dégager les grandes intentions.

Le socle comprend intuitivement le sol, mais il n'est pourtant pas toujours clairement intégré dans la réflexion d'un projet d'aménagement paysager.

Selon Gis Sol, le sol est « la couche superficielle des surfaces continentales, formée par l'altération de la roche sous-jacente sous l'action du climat et des organismes vivants. Son volume s'étend de la surface de la terre jusqu'à la roche altérée » (Gis Sol, 2011).

Composé de minéraux, de résidus de plantes et d'animaux, d'eau, d'air et d'organismes vivants, « le sol que nous foulons est un écosystème complexe et efficace fonctionnant à très petite échelle » (DG Environnement, 2011).

Sous notre latitude, son épaisseur est typiquement de l'ordre du mètre. On y trouve dans le premier tiers, une teneur en carbone maximale, conséquence de la séquestration du carbone de la biosphère.

Le cycle biogéochimique du carbone circulant constamment entre les plantes, l'atmosphère et le sol, jouent un rôle non négligeable dans le climat de la planète.

En milieu artificialisé ou en agriculture intensive, le sol, s'il est encore présent, ne remplit pas les mêmes fonctions que dans son milieu naturel. On nomme anthrosols, les sols perturbés par les activités humaines. Généralement l'action subie entraîne des modifications irréversibles, étant donnée la faible capacité de résilience des sols à l'échelle humaine.

Ces sols, remaniés, bloqués, imperméabilisés, présentent des caractéristiques particulières et peuvent s'avérer inadaptés pour les végétaux ornementaux.

Les aménagements paysagers sont rarement dotés d'un sol optimal, il est donc nécessaire de les rendre compatibles avec le projet.

Actuellement, deux stratégies principales sont possibles sur un aménagement :

- Soit on essaie d'adapter les aménagements aux caractéristiques des sols,
- Soit on « adapte » les sols aux aménagements prévus, par différentes techniques, dont l'apport de ressource en sol, extérieure au projet.

Ce dernier cas est fréquemment rencontré pourtant, il est consommateur de la ressource, il est également peu économique et de surcroît non écologique.

Ce mémoire a pour objectif d'optimiser les adaptations du sol, selon les différentes étapes du projet et les besoins vitaux du végétal.

Dans ce contexte, nous tenterons d'apporter des éléments de réponse à la problématique suivante :

Comment favoriser la valorisation du sol présent lors d'un aménagement paysager donné, en limitant l'apport de terre extérieure ?

Une étude des solutions possibles déjà existantes au sein de différents domaines est proposée. L'observation des pratiques et de la méthode de deux établissements spécialisés dans les études de sol et de conseil a également été étudiée.

Un outil d'aide à la décision d'amélioration du sol pour les aménageurs est proposé, afin de pouvoir identifier les actions à mener, durant les différentes phases d'un chantier d'aménagement paysager.

Une première partie est destinée à comprendre la problématique et les enjeux autour de la ressource en sol en France puis à l'échelle du projet. Les aspects quantitatif et qualitatif y seront exposés.

La seconde partie est dédiée à la compréhension du sol et du lien réciproque entre le sol et le végétal, ainsi que les autres organismes. On parlera d'écosystème.

La troisième partie s'appuie sur les travaux de différents spécialistes du sol et présente différentes alternatives. Afin de compléter les différentes approches et techniques d'amélioration du sol, des éléments de la littérature apportent des points de réflexion supplémentaires.

Enfin un outil d'aide à la décision est proposé, comme un guide / solution, il s'agit d'un arbre de décision.

Cette méthode se veut applicable aux différentes étapes du projet, en vue d'apporter des solutions opérationnelles aux aménageurs.

Enfin la conclusion permettra l'analyse et la critique de ce travail, en soulignant les limites auxquelles nous sommes confrontés.

1 LE SOL, UNE RESSOURCE RARE À PRÉSERVER

Le sol est une ressource naturelle que la plupart d'entre nous ignorent ou tiennent pour acquise. Pourtant, la mince couche de sol qui couvre une grande partie de la surface terrestre est vitale pour l'environnement, et sa valeur est inestimable pour nos sociétés.

Les services écosystémiques que rendent les sols sont nombreux. Ils sont les **supports de production végétale, lieux d'échange et de stockage, réservoirs d'eau et d'éléments nutritifs**. Ils sont également **socle de paysage**, source de matériaux et support du développement des infrastructures. Ils participent à la mémoire du passé, l'empreinte de l'homme y est conservée.

Ils font partie des grands régulateurs du climat et interviennent dans la régulation des eaux, leur filtration et leur épuration. Enfin, les sols sont des **réservoirs de biodiversité, participant activement aux cycles biogéochimiques du carbone** et de l'azote (voir le schéma du cycle du carbone dans les sols en [Annexe n°1](#)).

La compréhension globale du contexte et des enjeux liés à l'érosion de la ressource en sol nécessite une approche multiscalaire de l'organisation du territoire et de son fonctionnement. Dans ce premier chapitre, seuls les éléments prégnants sont présentés afin de contextualiser l'importance de la ressource en sol dans son ensemble, jusqu'au zonage d'un aménagement paysager.

1.1 UNE UTILISATION DÉRAISONNABLE DE LA RESSOURCE EN SOL

1.1.1 L'artificialisation du territoire se fait au détriment des terres arables

Depuis le 19^{ème} siècle, avec l'industrialisation, la ville ne cesse d'évoluer et de muer. Le périurbain, par l'étalement de la ville est « un des symptômes de mutation de l'habitat humain » (Tchékémian, 2007).

Vers la fin de la seconde guerre mondiale, dans le contexte d'après guerre et de modernisation du territoire, l'instrument de rationalisation du territoire Français devient la densification. Vient alors la naissance des grands ensembles.

Mais à partir du milieu des années 1970 avec la banalisation de l'automobile par des ménages assez jeunes, l'étalement urbain s'est poursuivi par une succession de couronnes périurbaines au détriment du milieu rural.

Depuis la fin du 20^{ème} siècle les espaces artificialisés ont progressé plus vite que la population n'a augmenté. « Chaque année, 60 000 ha de terres agricoles et de milieux naturels sont artificialisés » (Bouteiller, 2010).

La prise en considération de la diminution des ressources en sol s'accompagne dans les années 90, de la naissance de la sensibilité écologique et de l'avènement du développement durable. La densification devient alors le mot d'ordre de la ville durable. Dès lors, les enjeux de revalorisation des centres villes, la lutte contre l'étalement urbain et la préservation des sols sont programmés avec les principes de planification urbaine. Pourtant de 1992 à 2004, la conversion des sols agricoles a augmenté de 20% et entre 2000 et 2004, 56 000 Hectares par an, ce qui correspond globalement à la surface d'un département tous les 10 ans (Laugier, 2012).

Depuis l'application du second Grenelle de juillet 2010, il y a une volonté de mieux maîtriser l'aménagement par un ensemble d'actions visant à maîtriser la politique foncière et à doter les documents d'urbanisme, en faveur d'un aménagement économe de l'espace.

Ce constat illustre bien les préoccupations actuelles, liées à l'artificialisation du territoire au dépend de la ressource en sol et notamment en terres agricoles.

En outre, le besoin récurant de « nature » en ville, impulsé depuis l'ère industrielle questionne quant à la disponibilité qualitative et quantitative actuelle de la ressource en sol urbain.

Les aménagements paysagers urbains, les jardins partagés et potagers urbains sont dépendants de sols devenus non fonctionnels, notamment sur le plan de la production végétale. Les pollutions diverses (Elément Trace Métallique) et les modifications physiques sont des facteurs limitants auxquels nous essaierons d'apporter des solutions dans le chapitre 3.

1.1.2 L'impact négatif de l'agriculture conventionnelle sur la qualité des sols

Près de la moitié du territoire européen est consacré à l'agriculture. Les techniques de production intensive en grandes cultures ou même conventionnelles sont encore trop pratiquées. Largement incriminés, les engins agricoles lourds et déstructurants, les fertilisants chimiques NPK (Azote, Phosphore, Potassium) employés à outrance, les pesticides et la mise à découvert du sol sont les principales causes de la dégradation des terres arables.

1.2 DES PERTURBATIONS SUR NOTRE ENVIRONNEMENT EN RÉPONSE AU GASPILLAGE DE LA RESSOURCE SOL

Depuis plus d'un siècle, les lois et règlements ont eu des effets sur l'évolution et les mutations ou au contraire la préservation des paysages. Une évolution notable s'est faite ressentir quant à la politique de protection des paysages patrimoniaux. Les lois, décrets et règlements ont abouti à des évolutions en termes de politique des paysages.

1.2.1 Des effets bloquants pour l'eau et la biodiversité

Les terres arables sans couvert végétal ou dégradées absorbent peu les précipitations : Elles forment des impluviums qui accélèrent le ruissellement et leur lessivage.

Une terre déstructurée absorbe jusqu'à 2 ml/h, tandis qu'un sol structuré peut absorber jusqu'à 300ml/h.

L'imperméabilisation des sols à outrance a également pour conséquence l'augmentation des risques d'inondation.

De plus, l'artificialisation fragmente les habitats naturels, affectant la biodiversité. Ce phénomène est accentué par la construction de réseaux de communication nécessaires aux trajets domicile-travail. » (Antoni, 2011).

1.2.2 Des conséquences non négligeables sur notre environnement

Le sol intervient dans les grands cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote. L'excès d'azote issu des nitrates utilisés en agriculture entraîne un relargage et une pollution des nappes. Il est de surcroît responsable des phénomènes d'eutrophisation des eaux et des « marées vertes ».

En outre, les sols constituent le deuxième plus grand réservoir de carbone après les océans sur terre. Sur notre planète, l'atmosphère compte 770 giga tonnes de carbone sous forme de GES et la biosphère 600 giga tonnes de carbone sous forme organique.

La séquestration du carbone dans le sol est d'environ « 1500 Gt de carbone organique dans le premier mètre » (Razafimbelo-Andriamifidy, 2011). Nous verrons dans le chapitre suivant l'interdépendance du sol et du végétal. Le carbone circulant constamment entre les plantes, l'atmosphère et le sol, les sols jouent un rôle essentiel dans le climat.

Au cours des dernières décennies, les capacités de stockage des sols se sont affaiblies, « en grande partie en raison de pratiques non durables de gestion des sols et de conversion des sols » (DG Environnement, 2011).

L'artificialisation des sols agit sur le stock de carbone : « Un déstockage de carbone rapide et conséquent » apparaît si le sol n'est pas très vite couvert (Antoni, 2011).

On estime que la couche arable renferme à elle seule « environ 75 Gt de carbone organique, soit l'équivalent de 275 Gt de CO₂ », (DG Environnement, 2011) principal gaz à effet de serre. Les sols européens constituent donc un gigantesque réservoir de carbone.

En revanche, la mauvaise gestion des sols agricoles a tendance à libérer du carbone, « en raison du taux de minéralisation accrue des sols labourés et de la quantité plus limitée de matière organique laissée sur place ou apportées » (DG Environnement, 2011).

Les émissions annuelles de CO₂ de l'Union Européenne s'élèvent à un peu plus de 4 Gt. La libération dans l'atmosphère d'une fraction infime du carbone présent dans les sols aurait un effet significatif sur

les efforts de lutte contre le changement climatique (DG Environnement, 2011). C'est pourquoi la gestion du carbone dans les sols représente un levier temporaire d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

La problématique de la gestion du sol intervient à toutes les échelles. Si les capacités d'un sol à séquestrer du carbone ou à absorber des précipitations sont remarquables à l'échelle de l'impluvium, un aménagement paysager même à l'échelle de la parcelle participe à ces effets. La préservation du sol intervient donc à toutes les échelles y compris celle du paysagiste.

Nous aborderons dans les solutions du chapitre 3, les points d'actions possibles correspondant à l'échelle d'un aménagement paysager urbain, pour améliorer la qualité du sol, en adoptant une stratégie qui participe à la préservation de la ressource en sol.

1.3 UN CHANGEMENT NÉCESSAIRE DANS L'USAGE ET LA GESTION DES SOLS

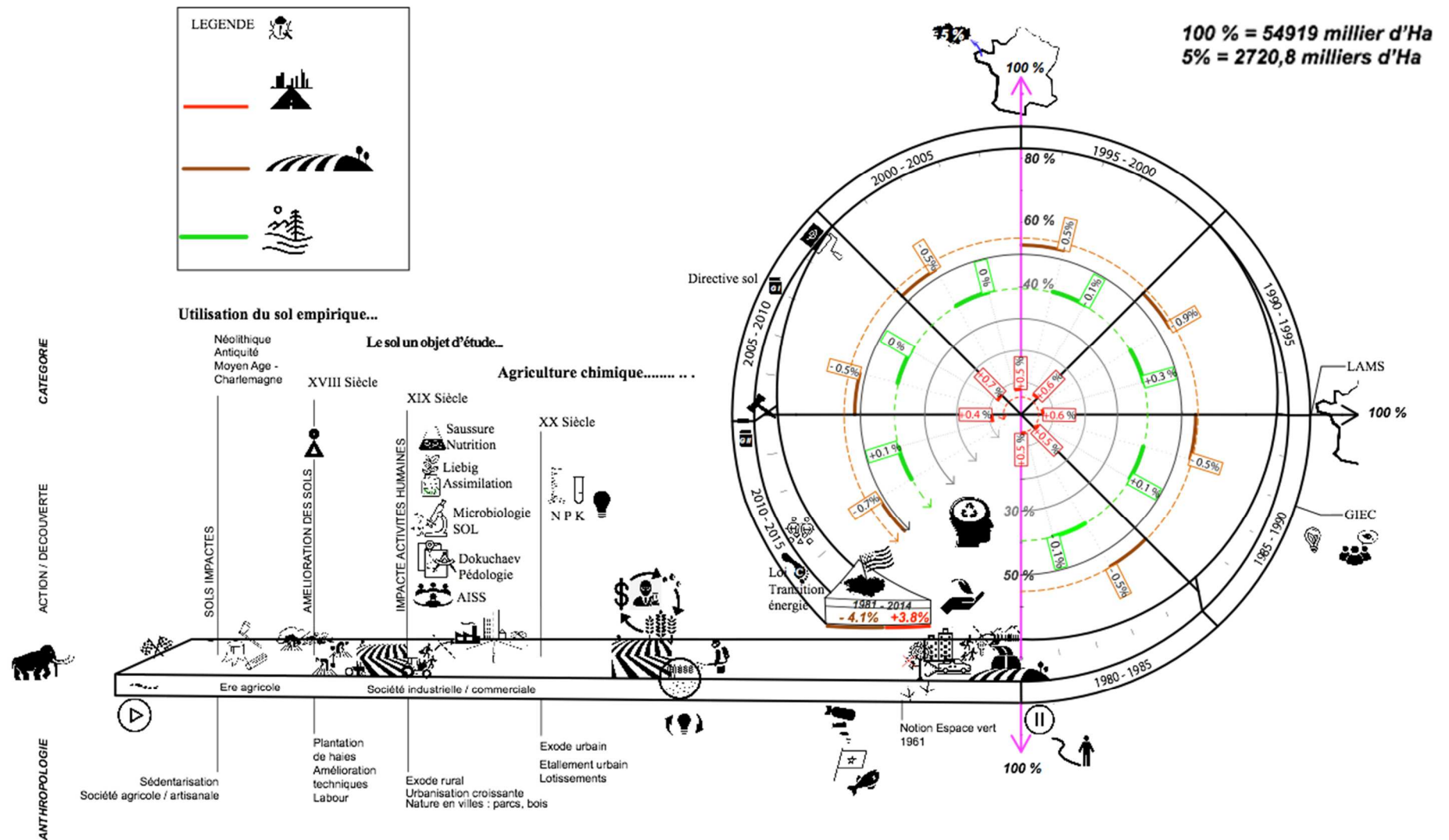


Figure 1 – Histoire du sol et évolution de l'occupation du sol depuis les trente dernières années (Tételin, 2016)

La question du sol à travers les âges et les enjeux actuels montrent de grandes fluctuations. Aujourd'hui nous prenons en considération l'importance des sols au même plan que celui des océans menacés de pollution.

La vision que l'on a du sol, depuis la préhistoire à aujourd'hui, est intimement liée à l'expérience de l'homme au fil du temps. Le sol apparaît aujourd'hui comme extrêmement modifiable car notre technicité le permet. La production hydroponique ou hors sol en est peut être le cas le plus frappant du 21^e siècle. En revanche, notre technologie n'a pas su préserver cette ressource, qui, à l'échelle humaine n'a pas la capacité de résilience suffisante. L'usage des sols a été pensé de manières très différentes depuis le début de la sédentarisation de l'homme. L'agriculture antique, moyenâgeuse, pour finalement arriver au début du 19^e siècle, a peu à peu instauré une adaptation des sols à nos besoins. Mais depuis la fin du 20^e siècle, le sol reconsidéré par les avancées des sciences apparaît comme une ressource non renouvelable et comme un écosystème. On tend maintenant davantage à adapter les usages aux caractéristiques du sol, lorsque cela est possible.

Toutefois, les sols n'ont plus uniquement un usage agronomique mais également un usage urbain avec le développement croissant des villes.

En effet, depuis trente ans, l'occupation des sols a profondément été modifiée par l'étalement urbain : les surfaces urbanisées en trente ans sont équivalentes à la surface de la Bretagne cf. Figure 1.

L'usage des sols doit être repensé à une nouvelle échelle, dans l'environnement complexe qu'est la ville, où il n'est pas facile de s'adapter. La recherche d'un équilibre est donc nécessaire afin de pouvoir adapter le sol à son usage, sans en impacter la ressource.

2 LE SOL : UN MILIEU VIVANT PRIMORDIAL POUR LE VÉGÉTAL.

2.1 LE SOL VU PAR LA PÉDOLOGIE

La pédologie est la science qui s'intéresse à l'étude du sol. C'est à la fin du XIX^e siècle, notamment avec la vision holistique du géologue russe Dokuchaev, qu'est née la science du sol. A travers ses travaux de cartographie, il a pu observer que la formation des sols dépend non seulement de la géologie du sous-sol mais également de la végétation et plus généralement des « agents biologiques ». Il ajoute à ses observations que la topographie et la durée agissent sur la pédogénèse.

Le sol est le compartiment de recyclage pour l'écosystème terrestre. Constitué de matières minérales et organiques, il abrite de nombreux êtres vivants en interaction directe avec lui-même. Le sol est donc un milieu vivant et dynamique en perpétuelle évolution. Structurés en couches, également appelés horizons, les sols sont caractérisés par leurs constituants, l'agencement de ceux-ci et leurs propriétés physico-chimiques et biologiques.

Sous nos latitudes, le sol fait en moyenne un mètre de profondeur avec cependant d'importantes variabilités locales. Sa formation se produit sur des milliers d'années par l'altération des roches de la croûte terrestre, sous l'action du climat et des organismes vivants. La différenciation en plusieurs horizons est donc la conséquence de l'action des facteurs suivants :

- le climat,
- la topographie
- la nature du sous sol,
- la nature des organismes vivants ainsi que du couvert végétal
- la durée

On comprend alors que le sol est en fait l'interface résultant de deux formations, aérienne et souterraine, par la biosphère et la géologie.

Le schéma ci-dessous présente la formation générale d'un sol au cours du temps.

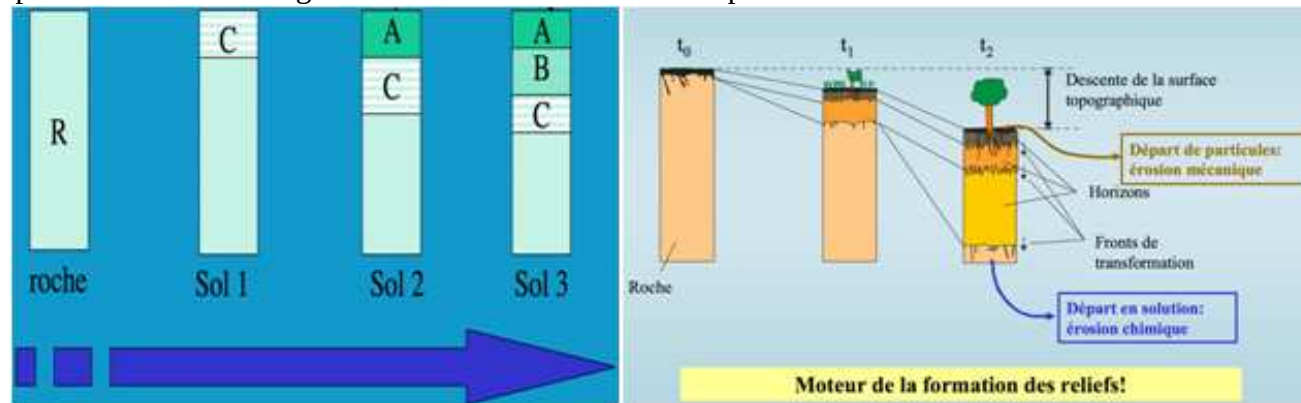


Figure 2 – Formation générale d'un sol (Forget, 2013)

Afin de mieux comprendre l'importance du sol pour le végétal, il est nécessaire d'approfondir son fonctionnement et d'expliquer le rôle des éléments qui le composent.

2.1.1 La composition du sol :

Les sols sont composés des éléments suivants :

- minéraux insolubles produits par la fragmentation et l'altération de la roche mère
- sels minéraux solubles
- matière organique vivante, fraîche et stable
- gaz
- une solution aqueuse

- Les **minéraux insolubles** se manifestent par des particules de calibres différents allant de plusieurs centimètres à des diamètres inférieurs à 2μ . Les particules minérales les plus petites, appelées colloïdes et composées d'argiles, servent de réserve de nutriments qui sont absorbés par les racines des plantes. Il est nécessaire de souligner que la capacité d'un sol à stocker l'eau, élément vital pour toutes les plantes, se caractérise principalement par l'abondance de ces particules minérales.

- Les **sels minéraux**, issus de la dissolution de la roche, sont des composés naturellement présents dans la solution d'un sol. Les plantes puisent par leurs racines ces sels dans la phase liquide du sol.

Ces minéraux sont présents sous deux formes :

- **ions libres dans la solution :**

La solution du sol correspond à de l'eau infiltrée qui, par percolation, se charge de gaz dissout (oxygène, dioxyde de carbone) et de substances minérales dissoutes ou dissociées par l'hydrolyse (ions minéraux). Elle véhicule les substances nutritives (les cations Na^+ , Mg^{++} , K^+) qui sont captées par les poils absorbants des racines.

- ions retenus par les complexes argilo-humiques (CAH) :

De par leur nature, les CAH retiennent essentiellement les cations et sont donc une réserve nutritive pour les plantes. Quand un ou plusieurs éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes font défaut dans la solution, le sol n'est pas fertile.

- La **matière organique** du sol est issue des débris végétaux qui ne sont pas décomposés, des restes d'organismes (matière organique fraîche) et de matières organiques stables, appelées humus.
- Les **gaz** contenus dans le sol sont principalement l'oxygène, l'azote et le dioxyde de carbone. L'oxygène est important pour le métabolisme des plantes et leur croissance. Sa présence est nécessaire au développement des bactéries du sol intervenant dans la décomposition de la matière organique.
- **La solution du sol** (solution aqueuse) occupe environ un quart du volume d'un sol. Comme nous l'avons vu précédemment, la quantité d'eau retenue dépend des propriétés physiques du sol et donc de la taille et de la disposition des pores du sol. Dans un sol idéal, deux tiers environ de l'eau retenue par le sol, une fois l'excès drainé par la gravité, sont disponibles pour les plantes. Le tiers restant adhère aux particules du sol avec une force telle, que l'eau ne

peut être extraite par les plantes. Cette eau a des propriétés différentes de celles de l'eau libre. Elle est appelée eau liée.

Pour les paysagistes, la question de la fertilité est prépondérante. C'est l'aptitude d'un sol à exprimer le potentiel de croissance des plantes, nous verrons que la fertilité des sols se décline en trois fertilités différentes qui sont : la fertilité physique, la fertilité chimique et la fertilité biologique. Ces trois fertilités sont essentielles pour le paysagiste, elles déterminent également au delà du végétal, des aspects de gestion, comme celui de l'eau en milieu urbain (coefficient de perméabilité).

2.1.2 La fertilité physique du sol

Elle correspond à la plus ou moins grande facilité à créer et/ou maintenir un état physique du sol adapté à la végétation mise en place : stockage et infiltration de l'eau, porosité et croissance racinaire. Elle est caractérisée par l'ensemble des propriétés physiques des sols liées à la texture et à la structure.

➤ La texture :

La texture est la caractérisation granulométrique de la dimension des particules minérales du sol. On distingue les éléments grossiers (diamètre des particules $> 2 \text{ mm}$), et la terre fine (diamètre $< 2 \text{ mm}$) ;

- les sables : particules de diamètre compris entre 50 et 2000μ (microns) ou 2 mm , visibles à l'œil nu ; ils sont rugueux au toucher

- les limons (également appelés silts) : particules de diamètre compris entre 2 et 50μ (microns), ne peuvent être observées sans

microscope ; elles laissent une trace semblable à de la farine quand on les écrase entre les doigts

- les argiles: particules de diamètre inférieur à 2μ (microns), invisibles à l'œil nu ; elles forment une masse collante quand elles sont mouillées.

On retrouve les différentes classes de texture dans le triangle de texture ci-dessous :

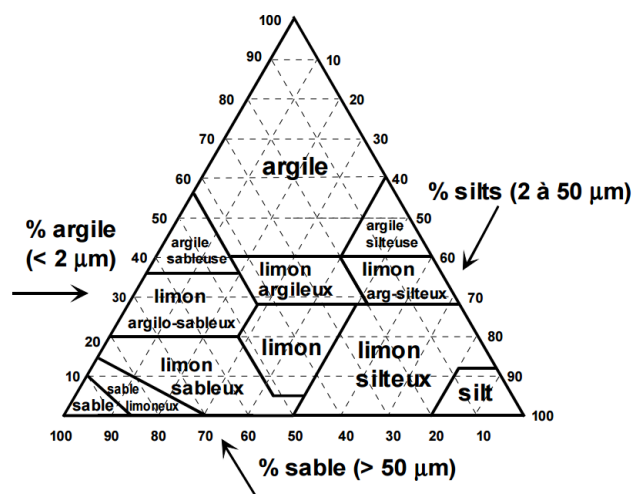


Figure 3 – Classification triangulaire des sols fins (Degoutte & Royet, 2009)

La classe texturale d'un sol est définie selon les proportions de sable, de limon et d'argile : on parle par exemple de sols argileux, argilo-limoneux, limono-argileux, limoneux, limono-sableux ou encore limono-sablo-argileux... Le premier terme correspond à la classe

texturale dominante : un sol limono-argileux contient plus de limons que d'argiles.

La texture d'un sol détermine sa productivité. En effet, elle a une influence sur le régime hydrique des sols (circulation, rétention d'eau et capillarité) qui lui-même aura un impact sur l'hydratation de la végétation, son développement et sur l'érosion des sols. D'ordinaire, les sols sableux ne peuvent pas stocker suffisamment d'eau pour une alimentation correcte des plantes et perdent une grande partie de leurs sels minéraux, qui migrent dans le sous-sol. Les sols qui comptent un pourcentage plus élevé de particules fines, comme **les textures limono-argileuses, sont d'excellents réservoirs d'eau** et contiennent des substances minérales directement absorbables par les végétaux. Les sols qui contiennent une forte proportion de particules de la taille des argiles sont composés en grande partie de minéraux argileux (illite, montmorillonite, kaolinite) qui ont tendance à se gorger d'eau et à en bloquer la circulation. Ce sont des sols lourds, collants, et souvent mal aérés, ce qui nuit à la croissance normale des plantes et favorise en agriculture la formation d'une semelle de labour.

➤ La structure :

La structure, c'est l'architecture du sol, le mode d'agencement de ses composants. C'est une caractéristique essentielle du sol qui conditionne ses propriétés physiques notamment **la compacité**.

Lorsque les particules s'agglutinent en agrégats, elles sont à l'état floculé et la structure est grumeleuse. Lorsqu'elles demeurent indépendantes les unes des autres, la structure est dite particulaire.

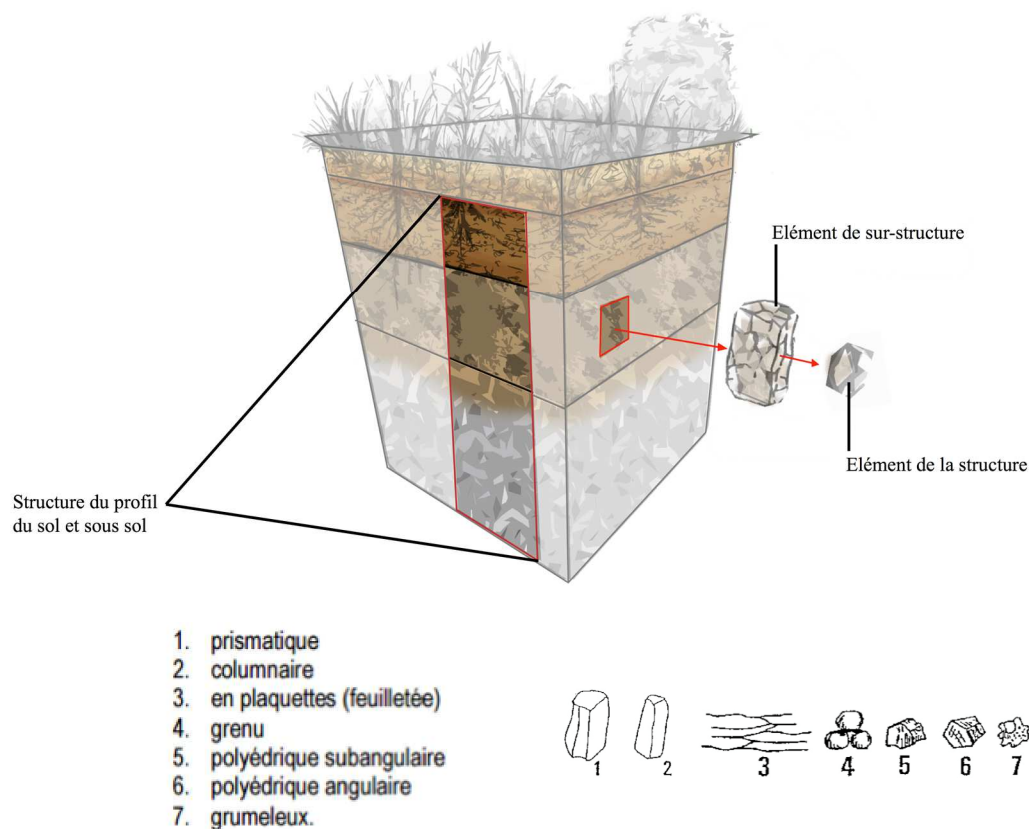


Figure 4 – Typologies de structures (Tételin d'après (Delaunois, 2008))

Texture et structure commandent la porosité totale, ou pourcentage d'espace vide par unité de volume du sol. Elles influencent aussi la circulation de l'eau et des gaz. Selon les cas, le sol sera aéré ou asphyxiant pour les organismes qu'il contient y compris pour les racines

Type		Qualité	Signification
Grumeleux		Très bon	Structuration biologique par les fèces lombriciennes, par les racines,...
Mixte Grumeleux à polyédrique		Bon à très bon	Début de structuration biologique
Polyédrique angulaire		Bon	Structuration par la fissuration des argiles.
Polyédrique subangulaire		Bon	Structuration par la fissuration des argiles et des limons.
Massive fissurée		Mauvais	Compaction ou reprise en masse. Compaction partiel ou début de restructuration.
Massive non fissurée (cassure nette de la motte ou de l'élément structural)		Très mauvais	Compaction intense.
Lamellaire		Très mauvais	Compaction intense, croûte de battance sédimentaire.

Figure 5 - Principaux types de structure (Delaunois, 2008)

2.1.3 La fertilité biologique du sol

Elle traduit l'influence des êtres vivants, sur le développement des plantes de par l'impact qu'ils ont sur l'état physique du sol et sur les quantités de nutriments disponibles.

La complexité et l'hétérogénéité du système sol engendrent un grand nombre de niches écologiques à coloniser d'où une diversité d'organismes très élevée allant des bactéries à la pédofaune en

passant par les champignons, les algues et les plantes (Burrow, 2015). Cette diversité favorise la fertilité.

Les matières organiques fraîches non vivantes, composées entre autre de substances hydrocarbonées, de matières azotées et de sels minéraux libres sont utilisées comme ressource alimentaire par la microflore du sol. Ces substances peuvent majoritairement être décomposées et minéralisées par les bactéries et champignons. Seule une fraction difficilement digestible ne sera attaquée que partiellement laissant d'importants résidus comme la lignine. En revanche, les métabolites issues de l'activité microbiologique fournissent une part essentielle des minéraux assimilables par les végétaux : gaz carbonique, eau, des matières minérales telles les nitrates, phosphates, carbonates, sulfates, potassium, calcium, magnésium, etc.

On parle de minéralisation primaire (cf. **figure 6**), qui est un processus assez rapide.

Ces matières minérales peuvent donc être assimilées par les plantes, adsorbées sur le complexe argilo-humique (expliqué ci-après), ou perdues par lessivage ou encore reprise par certains microbes pour la synthèse de l'humus. Les composés organiques dit stables forment l'humus. Ils comprennent un ensemble de produits issus de la transformation de la matière organique fraîche qui n'a pas été minéralisée.

Cependant, l'humus subit une minéralisation secondaire (cf. **figure 6**) qui est un processus plus lent, à raison de 2 – 3 % par an (Agricultures & Territoires Chambre d'Agriculture Languedoc-Roussillon, 2011). Cela libère des quantités annuelles d'éléments nutritifs qui sont alors mis à disposition pour les plantes (Dioxyde de carbone – CO_2 , Sulfate – SO_4^{2-} , Phosphate – PO_4^{3-} , Ammonium – NH_4^+ , Nitrate – NO_3^-).

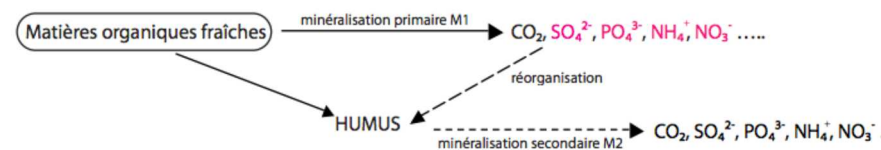


Figure 6 – Décomposition de la MO fraîche (Duchaufour, 1984)

L'**annexe N°2** présente les différents composés et les différents modes de formation des humus. Les substances humiques représentent 70 à 90 % des matières organiques du sol (Agricultures & Territoires Chambre d'Agriculture Languedoc-Roussillon, 2011). Le processus de complexation de l'humus avec la matière minérale argileuse (complexe argilo-humique) permet une diffusion progressive des éléments nutritifs pour les végétaux. Ce phénomène intervient au niveau de la fertilité chimique du sol.

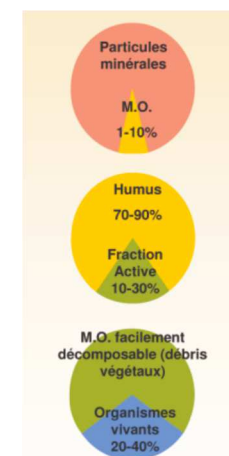


Figure 7 – Composition des matières organiques du sol (Gaillard, 2001)

2.1.4 La fertilité chimique du sol

Elle correspond à l'aptitude du sol à fournir des éléments nutritifs disponibles en quantités suffisantes pour la croissance et le développement des plantes. Elle est caractérisée par les propriétés chimiques des sols liées aux teneurs en éléments minéraux, au pH et à la **capacité d'échange cationique** du complexe argilo-humique.

Un sol est caractérisé, en chimie, par sa capacité d'absorption des éléments minéraux ioniques de la solution du sol.

Les argiles et minéraux associés aux humus forment des colloïdes chargés négativement. Ils constituent le complexe absorbant qui

attire les cations, en particulier les cations métalliques (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) qui sont des bases échangeables. Cette **capacité d'échange cationique** dépend de la teneur du sol en colloïdes, de la concentration et de la nature chimique des cations présents.

La CEC représente la quantité maximale de cations qu'un poids déterminé de sol peut retenir. Elle joue un rôle fondamental pour l'alimentation en éléments minéraux de la plante. La CEC dépend essentiellement du complexe argilo-humique du sol.

Le CAH représente donc la fraction de sol qui réunit des éléments des fractions organiques et minérales et des cations qui servent de « garde manger » aux plantes.

L'humus, produit de la dégradation de la MO, libère des acides organiques (capables de céder un ou plusieurs protons H^+) et d'autres composés qui vont se complexer avec les éléments minéraux ioniques. Ces éléments minéraux chargés plusieurs fois (bi, trivalence) positivement (cation), vont également se lier aux sites électro-négatifs des argiles issues de la dégradation des roches.

Enfin l'humus protège physiquement l'argile en retenant l'eau et en évitant sa dispersion. L'argile, quant à elle, protège l'humus de l'action des micro-organismes en ralentissant physiquement sa minéralisation. Le tout forme un colloïde qui permet de stabiliser et de structurer l'horizon organo-minéral d'un sol et donc la fertilité physique.

2.2 LES BESOINS NUTRITIFS DU VÉGÉTAL DANS LE SOL

Cette partie, présente les caractéristiques du sol idéal pour le développement des végétaux sans exigences particulières. Cependant, les optimums donnés sont adaptés au développement du végétal dans un aménagement paysager et non aux performances

attendues en agronomie. Certains paramètres agronomiques ne sont donc pas renseignés volontairement.

Voici une représentation graphique d'un sol idéalement constitué (d'après LAMS) :

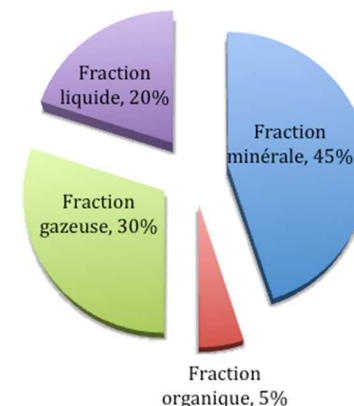


Figure 8 – Constitution idéale d'un sol d'après le LAMS ([3])

Le végétal se nourrit à 94 % dans l'atmosphère où il prélève seulement 3 atomes (C, O et H) contre 23 dans le sol. Les facteurs impactant la nutrition des plantes via le sol sont : **la disponibilité en eau (RFU), la porosité du sol, l'activité biologique, la CEC et le pH**. Le pH impactant la CEC, nous retiendrons ici qu'il est nécessaire d'avoir **un pH le plus proche de la neutralité c'est-à-dire à 7**.

Enfin pour son métabolisme la plante a besoin dans l'ordre de priorité suivant : de l'azote (N), du phosphore (P), du potassium (K), du soufre (S), du calcium (Ca), du magnésium (Mg) et enfin de nombreux oligo-éléments.

Le schéma simplifié ci-dessous montre le rôle de chacun de ces éléments pour le végétal.

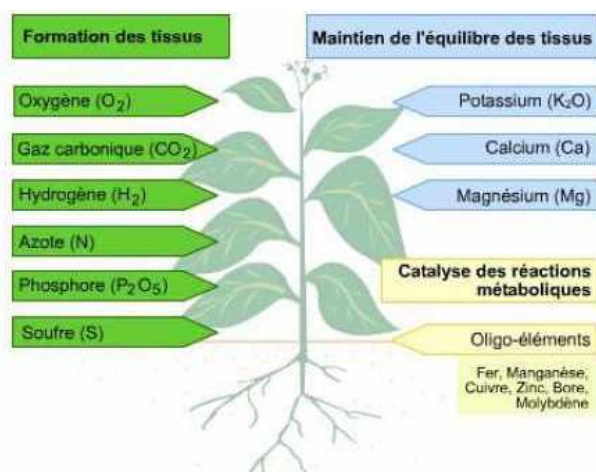


Figure 9 – Rôle des éléments nutritifs ([14])

Pour faciliter sa nutrition, la plante interagit avec le sol via **la rhizosphère**. Elle correspond à la partie du sol influençable directement au contact des racines (5mm) par la présence accrue de microorganismes. Ce mutualisme permet à une diversité de microorganismes de se développer et d'échanger avec la plante des éléments nutritifs du complexe argilo-humique.

Le tableau 1 ci-contre donne d'après les récentes recherches menées par l'unité de recherche EPHor (Environnement Physique de la plante Horticole) à Angers, les gammes de valeurs des paramètres clés d'un sol pour le développement optimal du végétal en milieu urbain, spécifiées en noir.

Une gamme de valeurs similaires et complémentaires provenant du Lams, spécifiée en bleu, montre un certain écart entre les valeurs optimales pour la MO, le rapport C/N et le calcaire actif. Ces écarts montrent une certaine amplitude des valeurs souhaitables.

Tableau 1 – Gammes de valeurs des paramètres clés d'un sol pour le développement optimal du végétal en milieu urbain d'après EPHor

Paramètres	Unité	Valeurs	Interprétations
* matière organique (MO)	g.Kg-1	30 40 à 100	normal optimal
azote total (Ntot)	g.Kg-1	10 à 20	optimal
C/N	-	10 à 12 8 à 10	normal optimal
phosphore assimilable	g.Kg-1	0,08 à 0,12 > 0,12	élevé très élevé
* capacité d'échange cationique	meq/100g	25 à 40 > 40 20 à 25	élevé très élevé optimal
carbonate (CaCO3)	g.Kg-1	10 à 50	optimal
potassium K	ppm	100	normal
Conductivité	mS/cm	2 à 3	normal
Fertilité chimique pH	-	6,5 à 7,5	optimal
* réserve utile	mm.cm-1	> 1,5	optimal
masse volumique apparente	g.cm-3	< 1,2	optimal
argile	%	12 à 20	normal
sable	%	40 à 50	normal
* Compaction	Mpa	< 2	optimal
Fertilité physique acroporosité	m3.m-3	> 0,2	optimal
activité enzymatique	µg ParaNitroPhénol/g sol sec/heure	600	normal
Fertilité biologique			

Il faut noter que ces valeurs fluctuent naturellement au sein des différents horizons du profil d'un sol. Par exemple, dans le cas de la matière organique, les deux profils ci-dessous (figures 10) illustrent la variabilité de cette teneur pour différents horizons et sur différents sols.

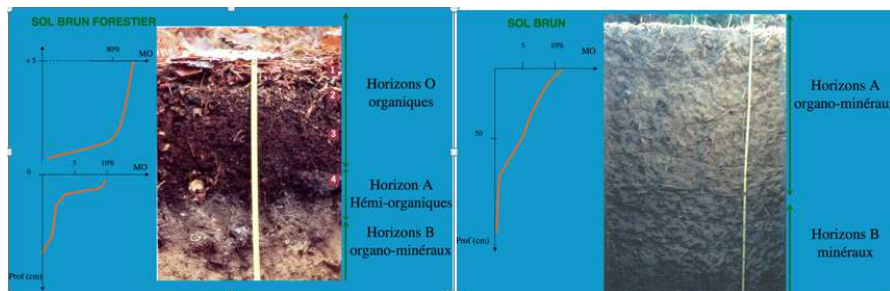


Figure 10 - Variabilité de la teneur en MO pour différents horizons et sur différents sols (Forget, 2013)

Le rapport C/N quant à lui est un indicateur de l'activité biologique des sols comme le montre le tableau 2 ci-dessous.

Il renseigne sur :

- le degré d'évolution de la matière organique,
- l'activité biologique,
- le potentiel de fourniture d'azote par le sol

(minéralisation)

Tableau 2 – Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008)

Rapport C/N								
Valeurs	6	8	9	10	11	12	14	>14
	Très faible	Faible	-	Normal	-	Légèrement élevé	Elevé	Très élevé
Interprétations	Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente	

On remarque que plus le rapport C/N est élevé (>12), moins l'activité biologique est importante et plus la minéralisation est lente. Cela traduit des conditions d'anaérobies et d'acidités excessives. Ce rapport peut être corroboré par l'analyse du coefficient de minéralisation K2 qui permet de quantifier les pertes annuelles d'humus et donc de MO.

2.3 LES FACTEURS LIMITANT POUR LE DÉVELOPPEMENT DU VÉGÉTAL EN MILIEU ARTIFICIALISÉ

Les sols urbains sont par définition des sols profondément influencés par l'urbanisation et les activités humaines. Les anthroposols sont des sols fabriqués, reconstitués, construits ou considérablement modifiés par l'Homme sur au moins **50 cm d'épaisseur** (AFES, 2008) (Burrow, 2015). Ce sont en majorité des sols jeunes comparés aux sols naturels. « Ils se distinguent par des horizons de surface massifs composés d'un grand nombre de fragments d'origine anthropique, **une compaction élevée** entraînant une **moins bonne infiltration de l'eau**, un **pH basique** conduisant entre autres à une précipitation du phosphore, alors indisponible pour les plantes (Burrow, 2015). Ils peuvent encore contenir des **teneurs élevées en matière organique traduisant un manque d'activité biologique**. A contrario, des teneurs en matière organique (MO) insuffisantes peuvent être rencontrées selon l'exploitation et la gestion du sol qui ne favorise pas la conservation des matières organiques fraîches (MOF) et des humus. Enfin, « une forte concentration en polluants, une température élevée et une humidité plutôt faible » sont fréquemment rencontrées (Burrow, 2015).

Parmi les facteurs les plus limitants, la compaction des sols de plantation doit être $< 2 \text{ Mpa}$ (Gouedard, 2014). Au-delà la porosité diminue et la teneur en oxygène devient insuffisante. La circulation de l'air et de l'eau y est extrêmement limitée et les racines s'asphyxient.

De plus, les bactéries et microorganismes du sol dépendent directement de l'oxygène puisqu'ils l'utilisent dans les réactions d'oxydations de la matière organique.

L'ensemble des facteurs défavorables à un bon développement du végétal sont illustrés ci-contre dans la figure 11.

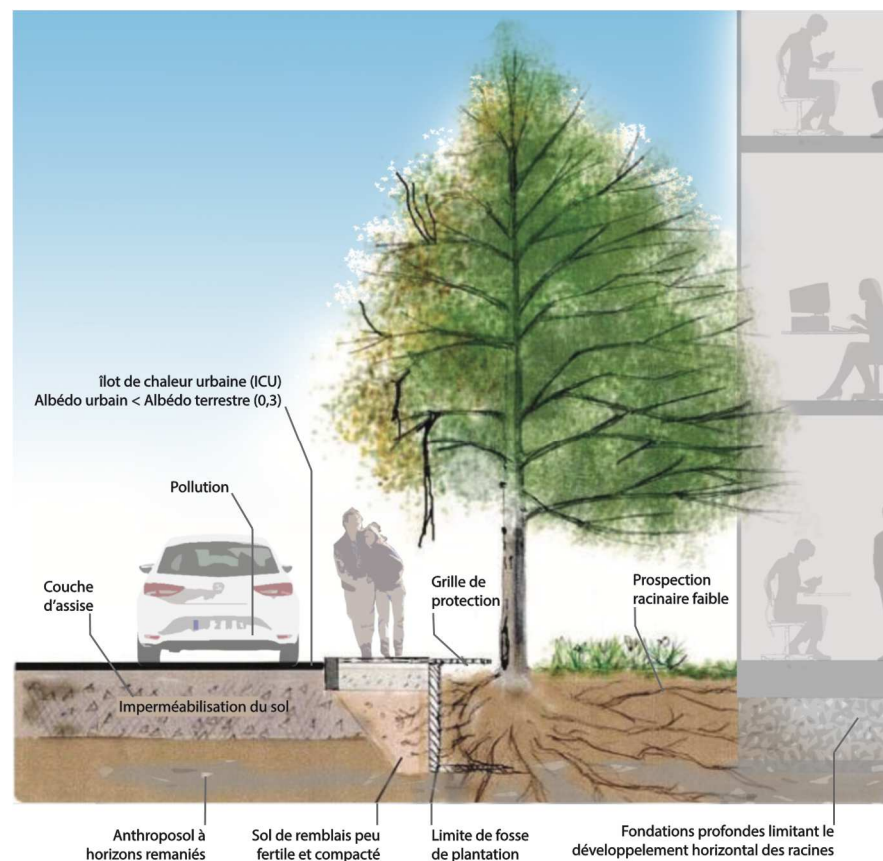


Figure 11 – Développement racinaire et contrainte du sol urbain (Tételin, 2016)

En revanche, dans la nature, les sols sont des biotopes, où évoluent différentes biocénoses qui forment des « écosystèmes emboîtés et emboîtant » (Ponge, 2012) avec une importante part de biodiversité. En effet, les nombreuses interactions biologiques sont indispensables au métabolisme des végétaux car elles jouent sur les trois types de fertilités vues au chapitre 2.1.

On comprend que la mise en œuvre des aménagements paysagers urbains soit une source de perturbation du sol inévitable à laquelle il sera nécessaire de remédier si l'on souhaite pérenniser les plantations.

Pour cela, un diagnostic de sol complet sera indispensable afin de pouvoir envisager la restauration, l'amélioration ou la valorisation des sols et de créer ainsi des conditions favorables au développement durable des végétaux.

2.4 QUELS CRITÈRES POUR L'AMÉLIORATION DES SOLS ?

L'évaluation de la qualité d'un sol nécessite l'utilisation d'indicateurs biologiques, physiques et/ou chimiques pertinents.

La sélection de ces indicateurs doit être basée sur différentes modalités que sont :

1. Le mode d'utilisation du terrain,
2. La relation entre un indicateur et la fonction du sol étudié,
3. La facilité et la fiabilité des mesures,
4. La variabilité du temps et de la surface d'échantillonnage,
5. La sensibilité de la mesure aux changements de climat et d'usage du sol,
6. La possibilité de réaliser un échantillonnage et une analyse de routine,
7. L'habileté requise pour utiliser les méthodes et analyser les résultats.

La figure 12 dresse une liste des principaux indicateurs physiques, chimiques et biologiques,

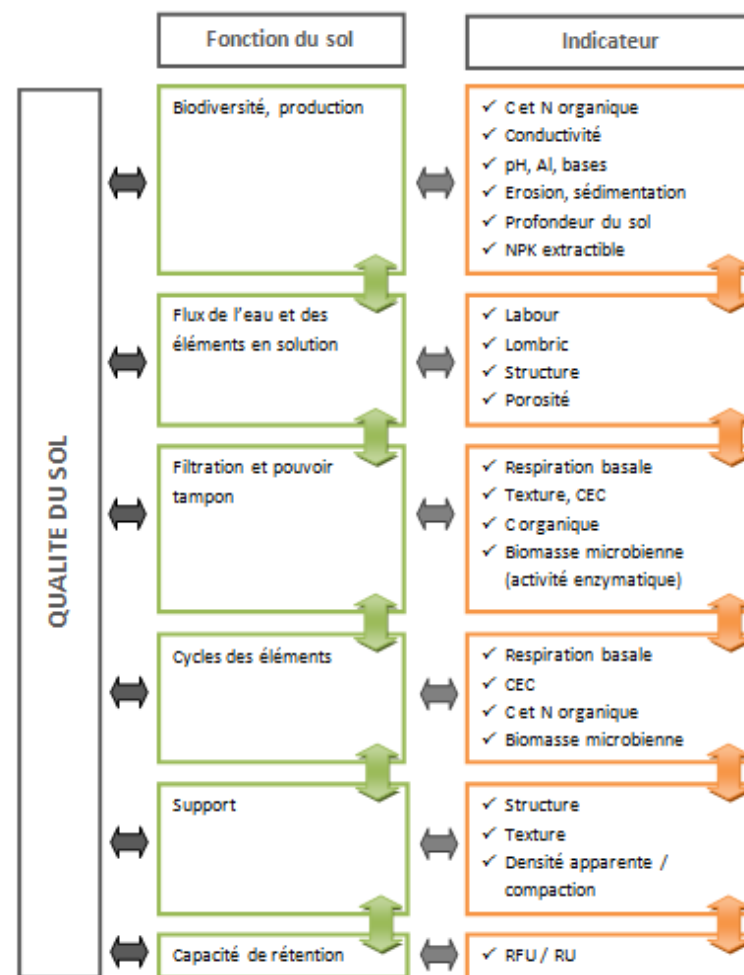


Figure 12 – Principaux indicateurs de qualité d'un sol (Tételin d'après Gros (2002))

Nous avons vu que les anthroposols semblent moins adaptés à présenter un écosystème fonctionnel du sol. La recherche de solutions d'amélioration des sols sera menée pour recycler la

ressource mais aussi dans l'objectif de pérenniser les plantations, en restaurant l'autonomie du système sol plante.

3 QUELLES SOLUTIONS APPORTER AUX AMÉNAGEURS POUR UNE AMÉLIORATION DURABLE DES SOLS ?

Ce chapitre associe les solutions envisageables ainsi que des méthodes pratiquées pour l'amélioration des sols de plantations. La première sous-partie propose de faire un découpage de l'aménagement en six séquences, afin de tenir compte de la temporalité. Bien que chaque projet ne puisse être uniformisé, une approche systémique permet selon les différents facteurs agissant sur le sol, et selon la finalité du projet, d'envisager et d'organiser des solutions, pour une grande diversité de sols tempérés. Nous verrons, à travers la seconde sous-partie, la méthodologie de deux bureaux d'études spécialisés en amélioration de sol. Leur approche sera complétée par des éléments de la littérature. Enfin, cela permettra

dans une troisième sous-partie de proposer un outil d'aide à la décision (OAD) sous forme d'arbre de décisions ciblant les solutions envisageables pour l'amélioration de la fertilité des sols de plantation selon des critères de choix.

3.1 ENVISAGER LA TEMPORALITÉ DU PROJET POUR L'AMÉLIORATION DU SOL

Un projet d'aménagement paysager peut être découpé selon les six étapes énumérées ci-après. A chacune de ces étapes nous pouvons d'ores et déjà, situer les points de vigilance qui affectent la qualité du sol et mettre en avant les facteurs limitant à corriger. Cette approche est en quelques sortes une orientation qui permettra ensuite, étayée par des diagnostics, d'améliorer la fertilité du sol.

3.1.1 Etat initial

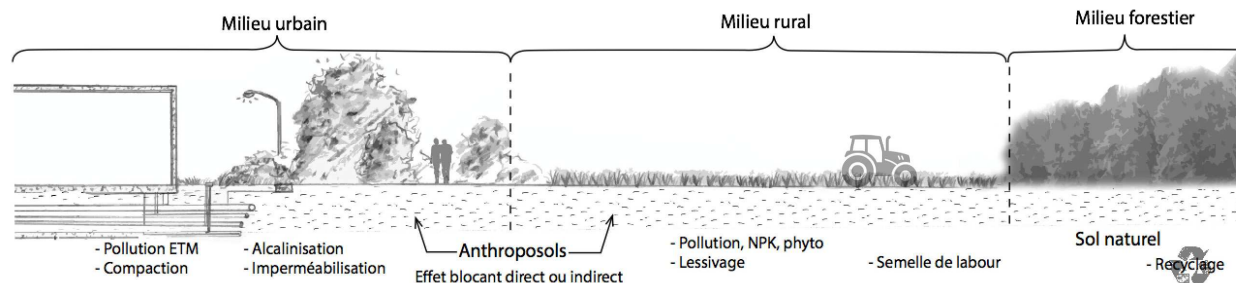


Figure 13 –Phase 1 : Observation de l'occupation du sol initial du projet et facteurs limitant présumés (Tételin, 2016)

L'état initial (ou « état zéro ») présente la réalité du milieu avant toute intervention d'aménagement. Il peut être ; un milieu urbanisé, un terrain agricole, un espace boisé, ou encore un milieu complexe. Cet état initial permet, par l'observation de l'occupation du sol et du couvert végétal, d'orienter l'aménageur sur la typologie des **facteurs limitants** comme l'illustre la figure 13 ci-dessus : **Alcalinisation, imperméabilisation, compaction, pollution nitrate, ETM, hydromorphie**. La géographie et l'histoire des paysages sont

directement liées à la nature de leurs sols. Ces derniers peuvent constituer des contraintes, des opportunités et des ressources au sein d'un projet.

Les différents paramètres identifiés pourront ensuite être mesurés à travers un **diagnostic pédologique et géotechnique**. L'amélioration du sol nécessite une approche d'observation et un diagnostic réalisé en amont du projet.

3.1.2 Terrassement et nivellement

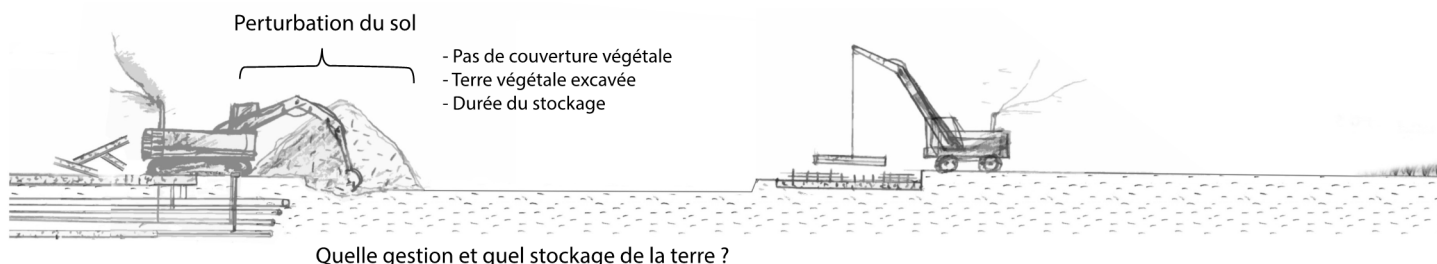


Figure 14 –Phase 2 : Quelle gestion et quel stockage de la terre ? (Tételin, 2016)

Seul l'arasement de la couche de sol superficielle, appelée terre végétale, est enlevé et stocké dès le début des travaux comme l'illustre la figure 14 ci-dessus.

Afin d'améliorer le sol en place sans en impacter la ressource, il est primordial de recycler cette terre sous certaines conditions. Le recyclage commence par une étape de décapage par couche dans des **conditions d'humidité inférieures à la limite de plasticité de la terre** d'après les règles professionnelles du paysage. La couche de surface

appelée plisse, est généralement la couche la plus riche en MO et doit être décapée à part. Elle doit être compostée en aérobie à hautes températures entre 65 et 70°C voir plus afin de stériliser le pool de graines adventices qu'elle contient pour éviter une contamination ultérieure (Albrecht, 2007).

La seconde étape consiste en un **stockage de qualité de la couche de terre végétale située sous la plisse**. La terre sera disposée **généralement en andains** sur le chantier ou à proximité directe.

3.1.3 Stockage en andain

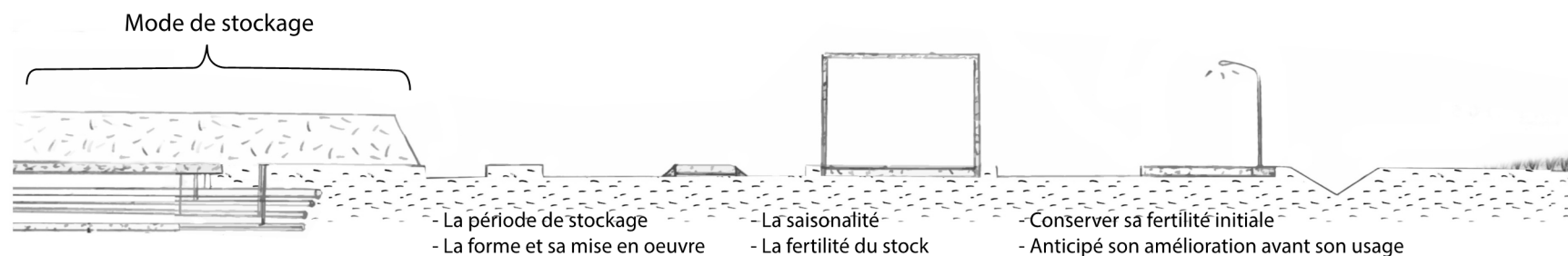


Figure 15 – Phase 3 : Mise en œuvre du stockage (Tételin, 2016)

Lors de la mise en andains (voir figure 15), il faut veiller à la nature de la terre que l'on va stocker (texture sableuse ou non sableuse), à l'humidité et à la limite de plasticité de la terre végétale. En effet, la pluviosité est le premier facteur auquel il faut se référer pour la mise en place du stock. Elle modifie en effet fortement la texture et donc

la plasticité du sol surtout entre les mois d'avril-mai à octobre. On favorisera un stockage non humide afin d'éviter toute fermentation anaérobie du stock. Il est parfois nécessaire tout de même, d'ajouter un drainage à la base de l'andain (voir figure 16), afin d'éviter toute accumulation d'eau favorable à une obstruction de la porosité du sol.

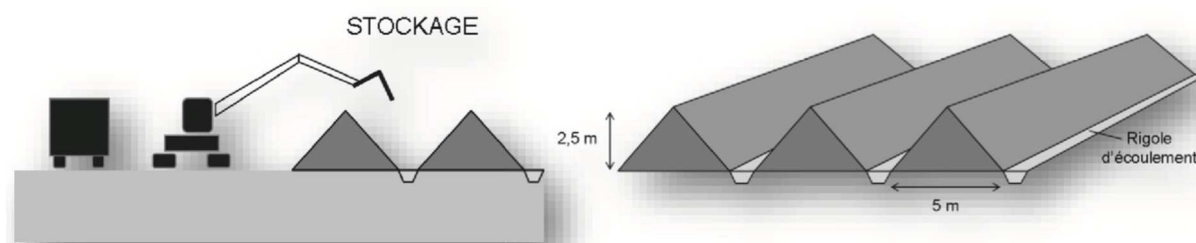


Figure 16 – Itinéraire technique de stockage (Rullier, 2016)

L'itinéraire technique du stockage, sous forme d'andains (voir figure 15 ci-dessus) est préconisé selon les règles professionnelles dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 – Règles professionnelles de stockage des terres en andain (Rullier, 2016)

Classe de sensibilité à la compaction	Teneur en eau du matériau (en % de la limite de plasticité)	Hauteur maximale d'andain	Largeur d'andain
5	> 120%	1,5m	3m
4	de 110% à 120%	2m	4m
3	de 100% à 110%	2,5m	5m
2	de 90% à 100%	3m	6m
1	< 90%	4m	8m

Ce mode de stockage en andains permet en outre avec un lissage superficiel l'élimination du risque d'accumulation et d'infiltration d'eau à la surface de l'andain. A cela s'ajoute la durée du stockage qui permettra ou non d'anticiper une amélioration du sol (ou de

conserver sa qualité). Une des solutions envisageables est alors d'effectuer un semi de plantes restructurantes et améliorantes qui, en plus d'apporter une protection physique (érosion-lessivage) à la terre, amélioreront les fertilités biologiques et chimiques.

3.1.4 Préparation

Préparation des sols de plantation

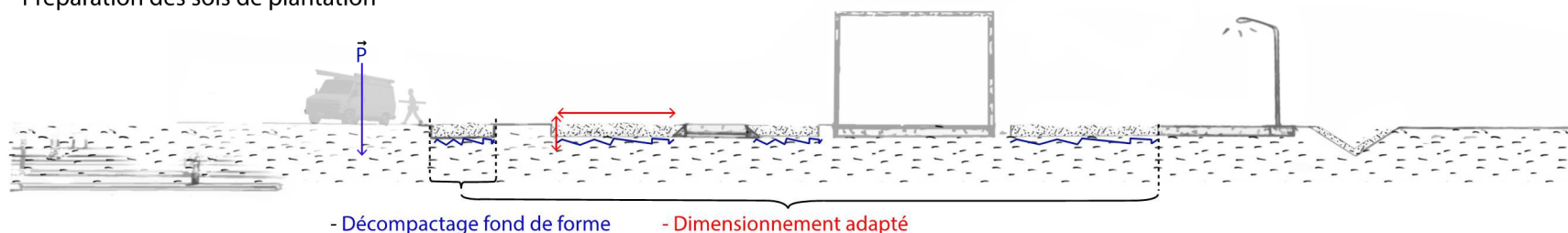


Figure 17 – Phase 4 : Mise en œuvre et préparation des sols de plantation (Tételin, 2016)

La mise en œuvre des infrastructures et le passage des engins de chantier peuvent occasionner une **compaction au-delà de 2 Mpa** des fonds de forme (voir figure 17). Cette compaction est incompatible avec le développement racinaire (Gouedard, 2014). Il sera donc nécessaire de corriger ce paramètre en décompactant le fond de forme de plantation avant la mise en place de la terre végétale et des plantations.

Par ailleurs, le **dimensionnement des fosses de plantation** est extrêmement important pour les végétaux, qui plus est, s'il s'agit d'essences arborées, possédant des systèmes racinaires spécifiques. Une fosse profonde de 1 mètre avec des contraintes latérales n'est pas forcément favorable en comparaison à une fosse moins profonde

sans contraintes latérales. On recommande 80 cm à 1 mètre de profondeur sachant que 80% des racines sont présentes dans les 50 premiers cm. Il est toutefois possible pour certains massifs de se limiter à une profondeur moindre. En effet, 80% de l'activité biologique se situe dans les 15-20 premiers centimètres de sol (Rullier, 2016). En conclusion, il faut préférer une continuité horizontale avec le moins de contraintes latérales possibles.

Enfin lors de la mise en œuvre de la terre végétale initialement excavée, il faudra veiller à ne pas recompacter les sols. Des amendements permettent si besoin un ajustement et un équilibrage initial pour la reprise des futures plantations.

3.1.5 Amendements et plantations

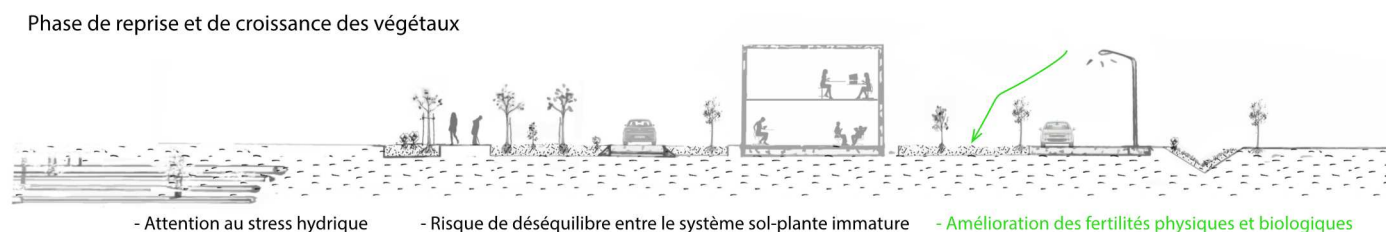


Figure 18 – Phase 5 : Mise en œuvre des plantations (Tételin, 2016)

Cette étape clé est consacrée au végétal, **les aspects physiques et hydriques** du sol sont les principaux points d'alerte pour la reprise à court terme (voir figure 18 ci-dessus). Il faut s'assurer de la bonne aération du sol et s'assurer d'avoir **une texture favorisant donc l'air et l'eau à la fois**.

Pour cela, on peut apporter des **amendements minéraux** tels que les limons, limons sableux, limons argileux. Le sable et l'argile seuls sont à proscrire dans la plupart des cas. L'argile est coûteuse à

mélanger et le sable peut être utilisé pour de l'enherbement mais pas pour des arbres car si le sol adopte un comportement hydromorphe même occasionnellement, le sable mouillé risquera d'être asphyxiant. Il faut donc plutôt privilégier un drainage dans ce cas.

Les **amendements organiques** quant à eux sont apportés essentiellement en surface ou en mélange dans l'horizon O (organique). Il s'agit des **composts**, des fumiers et du **BRF**. A cela se rajoute en surface les couvre-sols de type **mulch**. Ils vont apporter une protection au sol en limitant l'évapotranspiration, le

tassement, et en réduisant le développement des adventices. Ils aident à la reprise des plantations, notamment par la rétention hydrique qu'ils favorisent.

Un apport de type mulch ou paillage, vient donc protéger les jeunes plants du stress hydrique. Cet horizon de subsurface mime la litière forestière, dont le rôle est l'apport de MO au sol. Les mulchs peuvent être de nature ligneuse, pailleux ou herbeux. Leur vitesse de

minéralisation est croissante. Ainsi un mulch ligneux va se dégrader ou se minéraliser dans le sol en 5 à 10 ans. Un mulch pailleux mettra 3 à 4 ans et une herbe mettra environ une année. Les apports d'éléments fertiles sont donc à estimer selon la nature du sol et selon sa fertilité biologique (activité microorganismes).

3.1.6 Gestion pérennisation



Figure 19 – Phase 6 : Ajuster la gestion de la pérennisation des plantations (Tételin, 2016)

Il faut 10 à 15 ans pour retrouver une dynamique végétale pionnière diversifiée avec un horizon humifère (Rullier, 2015). Entre 2 à 5 ans, cela est insuffisant pour un sol perturbé ou dégradé. Le travail de reconstitution du sol à partir du recyclage de la terre végétale excavée est donc un challenge lorsque la fertilité d'origine est insuffisante ou inadaptée à la palette végétale du projet.

La gestion du végétal après l'aménagement est aussi un enjeu important dans le contexte économique et de durabilité actuelle (voir figure 19). L'apport de MO issue des parties aériennes représentent une part de la MOF, qu'il serait intéressant de considérer comme des externalités positives, puisqu'elles peuvent être réemployées gratuitement par le système sol-plante en réduisant ainsi l'apport en amendement organique et donc le coût d'entretien.

L'idée est de développer une approche économe en recyclant sur place toute la matière organique produite qui est encore trop souvent envoyée en déchetterie.

Ce découpage du projet d'aménagement paysager en six étapes montre les différents enjeux d'amélioration du sol selon la temporalité du projet. On observe dans la première étape un état initial qui permet d'aiguiller le diagnostique à réaliser : Composition, compaction, pollution, risque de déséquilibre de la CEC par lessivage des argiles en terrain agricole, alcalinisation du pH du sol urbain composé de matériaux anthropogène (ciment, chaux), etc.

Dès la seconde et la troisième étape, les possibilités d'amélioration et de préparation du sol peuvent être envisagées,

bien avant les plantations, si le projet implique un temps de stockage supérieur à plusieurs mois (généralement une saison). L'optimisation du stockage de la terre végétale, permet à minima, la conservation de sa qualité et sinon d'améliorer ses caractéristiques agronomiques. Il faut néanmoins s'adapter à la typologie du sol selon son ampleur.

3.2 PRÉSENTATION DE DEUX APPROCHES COMPLÉMENTAIRES POUR L'AMÉLIORATION DES SOLS

3.2.1 La méthode du bureau d'études Sol Paysage : une approche basée sur la caractérisation fine des sols par couches

Sol Paysage est un bureau d'étude de projet, d'ingénierie et de conseil en paysage. Au service des aménageurs et gestionnaires du territoire, l'entreprise développe depuis 1994 une approche transversale des paysages et des sols. Le savoir faire de cette entreprise permet la mise en place de méthodes de conception et d'élaboration de solutions techniques propres à un usage adapté des sols. Selon eux, la compréhension de la pédogénèse est essentielle pour caractériser les sols.

La prise en compte des sols dans un projet d'aménagement, étant associée à la temporalité du projet, Sol Paysage intervient à différents niveaux. Ainsi lors de la phase d'esquisse et d'avant projet, le diagnostic des sols est réalisé. Le sol est ensuite cartographié selon les analyses effectuées. A la phase de projet, les préconisations techniques ainsi que les choix d'essences envisagées par la MOE sont validés ou non, selon les résultats du diagnostic. Le cas échéant, de nouvelles stratégies de végétalisation sont proposées à la MOE. Aux phases de direction d'exécution des travaux, Sol

Paysage effectue des points de préconisation et de contrôle de la fourniture, un accompagnement technique, puis un contrôle de la qualité des sols reconstitués.

3.2.1.a Diagnostic du sol en place

Le diagnostic est initié par des recherches documentaires renseignant sur la géologie, la pédogénèse, l'historique et le plan d'implantation du projet (carte des pédopaysages, SIG existant).

Sol Paysage applique à ses études un fonctionnement particulier. Le sol est étudié par couches, et non dans sa globalité, c'est à dire qu'un bilan est réalisé à chaque horizon. Le diagnostic final se compose de l'ensemble de ces bilans.

➤ Analyse qualitative sur le terrain des sondages réalisés :

Les observations sont réalisées en creusant des fosses et par sondages à la tarière. Le choix d'implantation des différentes observations dépend à la fois des données bibliographiques, historiques, mais aussi des données du projet : les enjeux, l'accessibilité, le budget. En fonction de ces critères, le choix d'une densité et d'un maillage est proposé afin de positionner les points d'observations représentatifs par unité supposée homogène (Georges, 2015). Selon ces observations, des analyses en laboratoire sont réalisées aux points d'intérêts.

La figure 20 ci-dessous présente les points de sondages qui sont associés à cinq types d'observations :

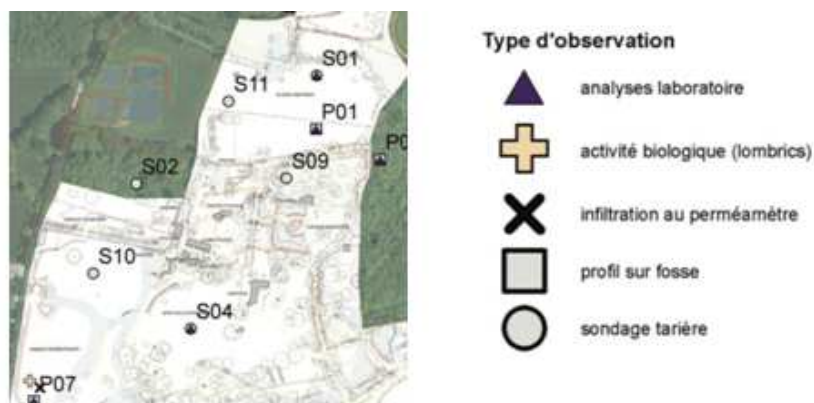


Figure 20 – Exemple de cartographie avec localisation des points de prélèvement associés aux observations réalisées (Rullier, 2016)

Les profils sur fosse sont accompagnés d'une description agropédologique renseignant sur la fertilité physique du sol.

L'*annexe N°3* présente un exemple de description réalisé par Sol Paysage sur le site de Chennevières-sur-Marne en 2010.

Ce type d'observations permet en outre de visualiser le développement des racines des arbres présents à l'état initial ou de mettre en évidence des contraintes pour le végétal (présence de réseaux, compaction).

➤ *Données quantitatives et qualitatives sur le sol suite aux échantillonnages de terrain :*

Les analyses de terre en laboratoire permettent de renseigner sur :

- la texture, par l'analyse granulométrique
- la CEC et l'équilibre chimique du sol
- les teneurs en éléments chimiques, majeurs et mineurs
- d'éventuelles pollutions par un dosage des ETM (cadmium, chrome, etc.)
- La MO et l'activité biologique

Cinq critères principaux sont généralement retenus à l'issue de leurs diagnostics (Rullier, 2016) :

- La porosité globale
 - Forte : sol très poreux, très filtrant
 - Moyenne : sol sain filtrant
 - Faible : sol compact
- L'équilibre acido-basique
 - Sol acide ($\text{pH} < 5,5$)
 - Sol légèrement acide ($5,5 < \text{pH} < 7,2$)
 - Sol neutre ($\text{pH} = 7$)
 - Sol basique ($\text{pH} > 7$)
- La disponibilité en eau du sol
 - Sol frais : le sol maintient une disponibilité en eau toute l'année
 - Sol sec : la disponibilité en eau n'est pas assurée en été
- Le risque d'engorgement
 - Sol hydro morphe : sol gorgé d'eau de façon périodique ou permanente
 - Sol non hydro morphe : sol toute l'année non soumis à l'engorgement
- La profondeur du sol
 - Sol profond : profondeur accessible aux racines > 50 cm
 - Sol superficiel : profondeur accessible aux racines < 50 cm

Enfin, la réalisation de cartographies (figure 21) corrélées avec les observations de terrain donnent l'aboutissement du diagnostic et permet d'orienter la maîtrise d'œuvre **soit vers une conception en adéquation avec le sol, soit vers une adaptation du sol au projet**

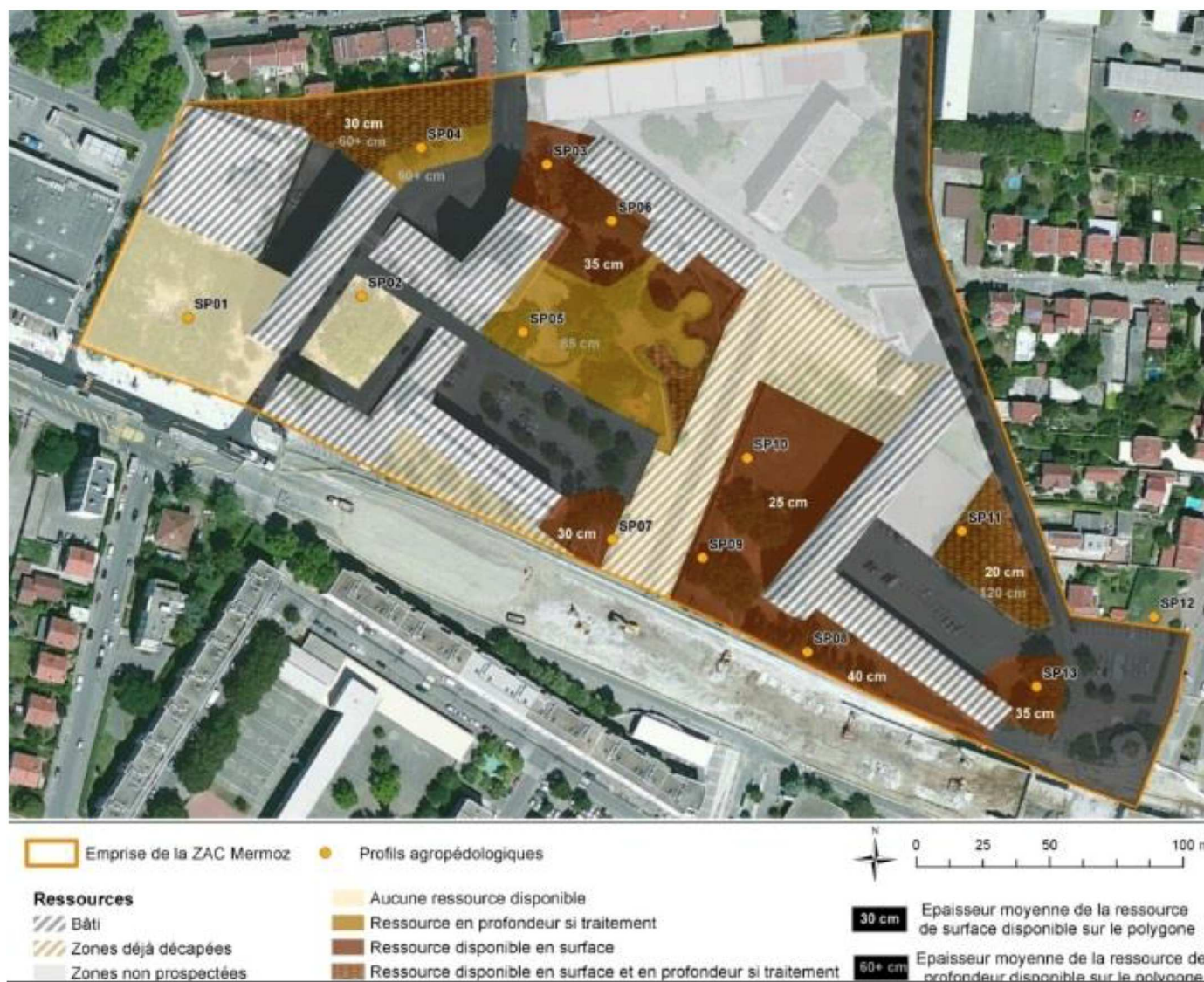


Figure 21 – Cartographie des ressources disponibles sur le site de la ZAC Mermoz Nord Lyon (Rullier, (2016))
(voir d'autres exemples en [Annexe n°4](#)).

3.2.1.b Choix du sens de l'adaptation : adapter le sol au projet, ou le projet au sol ?

➤ Adaptation de choix des plantations au type de sol

C'est le cas qui semble être le plus facile à mettre en place dans la théorie. En pratique, les contraintes à la conception du projet ne rendent ce cas que rarement ou partiellement possible.

Il est nécessaire en premier lieu de définir les aptitudes culturales, les atouts et les contraintes agronomiques du sol. La capacité du sol à répondre aux besoins physiologiques des plantations est traduite par un découpage des zones fertiles et non fertiles figure 22 et *Annexe n°5*:



Figure 22 - Exemple de cartographie d'interprétation des zones de fertilité du sol dans un projet d'aménagement (Rullier, 2016))

Enfin la consultation des bases de données comme Végébase (Plante et Cité), ainsi que les flores spécialisées, sont une aide importante pour le choix des essences. De plus, des critères non pédologiques tels que l'exposition à la pollution atmosphérique, au sel, ainsi que les caractères indigènes, naturalisés, invasifs, allergènes et paysagers participent à l'aboutissement d'une palette cohérente avec le sol du projet.

➤ Adaptation des sols pour la palette de plantations du projet

Révéler le socle est le leitmotiv sur lequel s'élabore un projet de paysage. En effet, l'intégration des différents paramètres du projet doit être en harmonie avec l'identité du paysage, et ce dès la conception initiale du projet.

Cependant, le diagnostic pédologique qui permet l'identification des contraintes et des opportunités de plantations est dans ce cas rarement intégré ou ne l'est que tardivement, après la conception du plan de plantation.

Parfois inadapté au choix des végétaux ornementaux sélectionnés, le sol doit alors être amélioré. Pour cela, Sol Paysage se base sur le modèle du sol forestier afin de restaurer les qualités du sol (cf figure ci-dessous 22). Dans le cas où un horizon ferait défaut, il peut être substitué ou remplacé. Il peut également être amendé afin d'obtenir les paramètres favorables à la fertilité attendue.

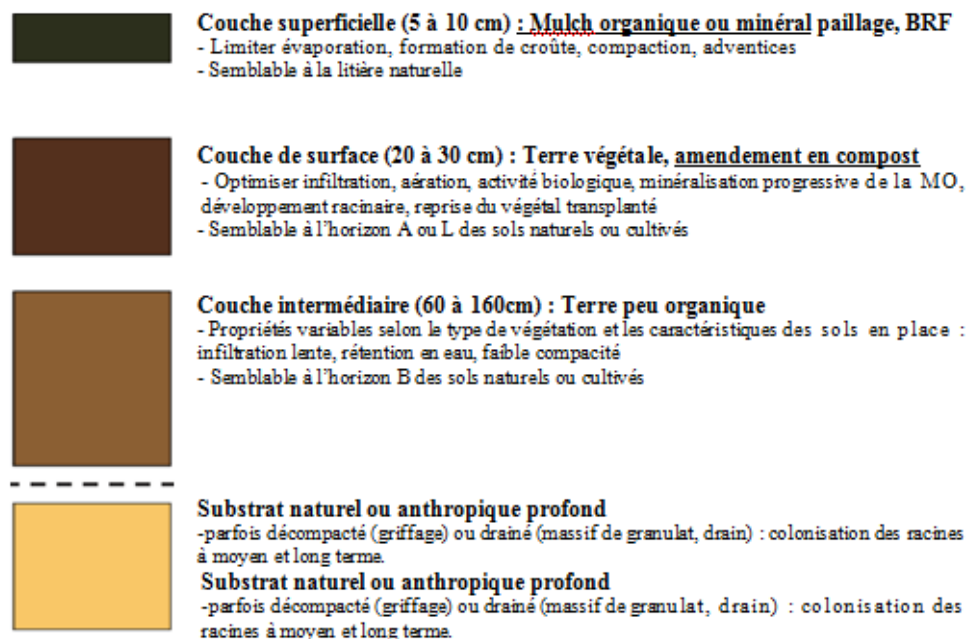
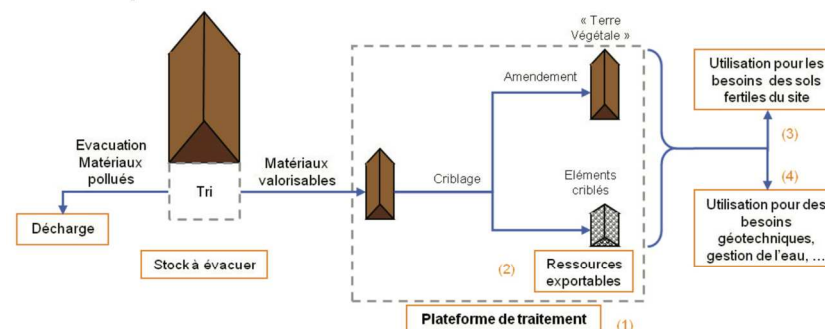


Figure 23 - Profil d'un sol de référence pour des plantations (Rullier, 2016)

3.2.1.c Gestion des matériaux et terrassements selon Sol Paysage

Dans le cas évoqué ci-dessus, d'une adaptation du sol à la palette végétale du projet, la valorisation environnementale des sols est initiée par un diagnostic croisé des substrats. Ce diagnostic oriente soit vers le réemploi géotechnique, soit vers la valorisation paysagère c'est à dire le recyclage, ou vers l'évacuation. Sol paysage propose deux itinéraires possibles qui sont le principe de valorisation et le principe de substitution (cf. figure 24).

Principe de valorisation



Principe de substitution

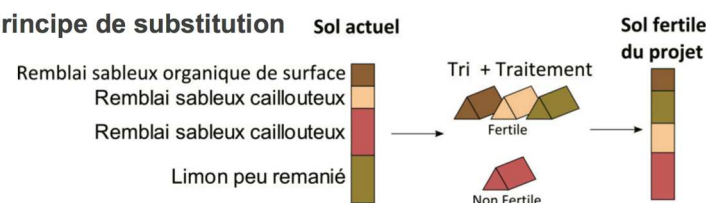


Figure 24 – Schématisation des itinéraires d'amélioration du sol (Rullier, 2016)

En amont, un bilan des quantités de matériaux fertiles sur chaque tranche du projet est réalisé. Ainsi la disponibilité et le suivi des stocks en fonction des cubatures sont optimisés afin de pouvoir répondre à la demande de matériaux fertiles pour chaque zone du projet (*Annexe n°6*).

3.2.2 La méthode du Laboratoire d'Analyse

Microbiologique des sols : une approche globale par la biologie pour l'amélioration des sols.

« Créé par Claude et Lydia Bourguignon, le LAMS est un laboratoire d'analyse de sol spécialisé dans l'étude écologique de profil cultural pour restaurer la biodiversité des sols de terroir afin d'améliorer la qualité et la typicité des vins et des denrées agricoles » ([3]). Leurs services ne se limitent pas seulement aux cultures mais

également aux collectivités, menant des projets d'aménagements paysagers.

Selon leur grande expérience, il n'y a pas de bon ou de mauvais sols, mais plutôt des sols adaptés et des sols moins adaptés à certains usages. Ainsi, dans cette logique, on devrait davantage adapter les plantations aux sols et non l'inverse. Leur savoir-faire en biologie leur permet d'avoir une approche écosystémique, et d'observer le sol dans une globalité écologique qui associe le biotope à la biocénose.

3.2.2.a Observations de terrain et analyses en laboratoire

Leur prescription se compose d'un diagnostic de terrain similaire à celui présenté dans le précédent sous-chapitre. (3.2.1 a.). Ils réalisent également des profils (pelle ou tarière) à partir desquels ils effectuent leurs observations et leurs échantillonnages (cf. figure 25).

L'échantillonnage est réalisé sur deux niveaux : un dans l'horizon dit travaillé et le second dans l'horizon dit profond (<100cm) (figure 26). L'analyse se fait aussi dans la globalité du profil comme le montre la figure 26 présentant la compaction en fonction de la profondeur dans le profil.

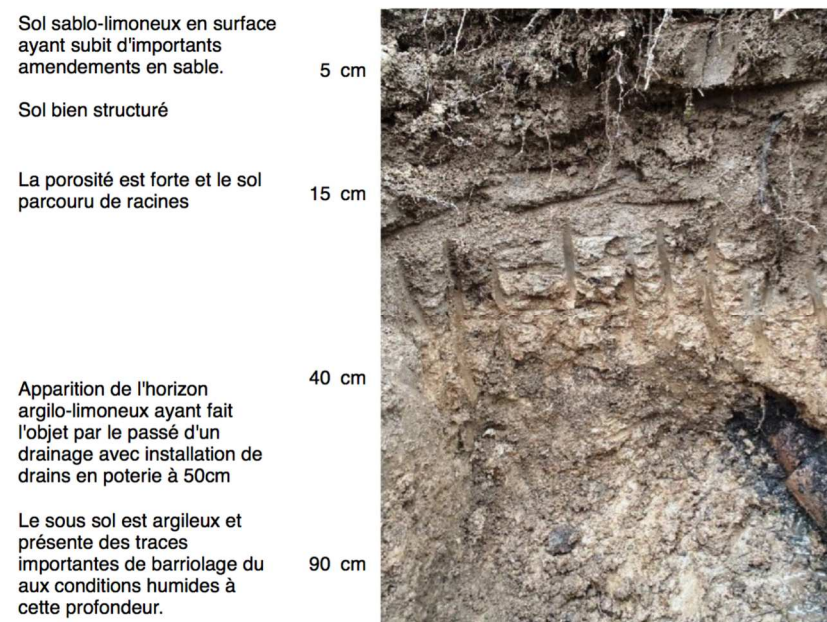


Figure 25 – Réalisation d'une fosse d'étude d'un terrain en friches en région Nantaise (source confidentielle)

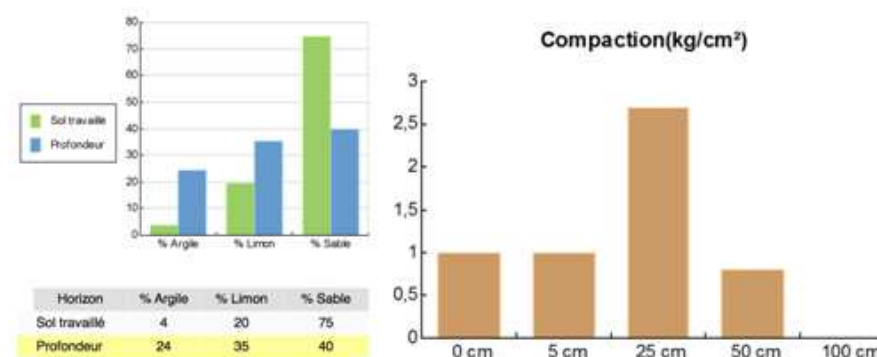


Figure 26 - Compaction en fonction de la profondeur d'un profil (source confidentielle)

Les analyses microbiologiques et entomologiques effectuées dans leur laboratoire leur fournissent de précieuses indications sur l'état de santé des sols. Ils fournissent avec ces données qualitatives et quantitatives un conseil sur la gestion des sols, afin de les mettre en valeur durablement tout en préservant l'environnement.

3.2.2.b Itinéraire général pour l'amélioration d'un sol dans un projet d'aménagement paysager en milieu urbain

Pour un projet d'aménagement urbain, voici les préconisations synthétiques du LAMS :

▪ Etapes préliminaires

Identifier les facteurs limitants du sol suite à l'analyse : y- a -t-il une pollution ETM ? Quelle est la structure de la terre végétale (mesure de la compaction) ? Les paramètres agronomiques pH, texture et MO sont- ils dans les gammes de valeurs préconisées ?

▪ Mise en œuvre

- Enlever en condition sèche les trente premiers cm de TV au début de l'été.
- Déposer en andains la terre
- Semer un couvert végétal à cycle court sensible au gel qui protégera ensuite la terre, en se transformant en mulch

▪ Restructuration

- Restructuration du sous sol en décompactant mécaniquement et semant des plantes restructurantes
- Amender selon le besoin de la terre végétale en smectites ou en carbonates entre avril et mai
- Positionner la terre et amender en compost à raison de 10t/ha sans enfouir en avril

- Griffer légèrement le sol sur 5 cm et semer un mélange annuel restructurant.

▪ Restitution

- Destruction mécanique des couverts annuels dans les zones destinées aux pelouses. Semis et arrosage 15 jours après.
- Destruction des couverts sous bande de paille dans les zones destinées aux massifs en août.
- Plantation en octobre au travers du paillage des plants en racine nues
(Bourguignon, 2015)

On constate que les stratégies des deux bureaux d'études sont identiques dans l'amélioration des couches superficielles du sol. Dans les deux cas, on utilise systématiquement un amendement de la terre végétale en matière organique, généralement du compost, en surface ou en mélange à cet horizon (0-30 cm). On dépose au-dessus un mulch de type paillage ou BRF, pour compléter cet apport et protéger de la déshydratation.

Sol Paysage cherche à reconstituer mécaniquement les sols inadaptés si la finalité du projet l'exige, cela peut impliquer d'importantes perturbations du sol. Ces modifications peuvent être variables selon les caractéristiques locales. Le sol est travaillé pour permettre à l'écosystème du sol de se réimplanter progressivement, amorcé par l'apport de compost. A l'inverse, le LAMS utilise des techniques moins invasives et davantage naturelles, afin de valoriser l'existant, comme par exemple l'utilisation de plantes restructurantes pour remédier à un sol compacté.

3.3 L'AMÉLIORATION DU SOL DANS D'AUTRES CONTEXTES : OBSERVATION DE SOLUTIONS EXPÉRIMENTALES COMPLÉMENTAIRES

3.3.1 L'amélioration d'un sol dans un projet d'aménagement d'un domaine skiable

L'aménagement des domaines skiables conduit à des travaux de terrassement importants pour la mise en place des remontées mécaniques et l'implantation des pistes de ski. Cela a pour conséquence l'obtention d'une surface dénudée avec un substrat dépourvu d'horizon humifère. La revégétalisation est nécessaire afin de réduire le risque de ravinement et d'érosion des sols nus. Cependant, la construction d'une piste de ski crée des conditions écologiques et pédologiques très sévères pour l'implantation des végétaux. On retrouve les mêmes facteurs limitants que pour un projet d'aménagement urbain (compaction, ressources hydrique, baisse de fertilité...), auxquelles s'ajoutent les conditions climatiques extrêmes de ces milieux d'altitudes.

Le choix d'espèces végétales les plus favorables à la dynamique de reconquête des espaces dégradés a été expérimenté dans ce type d'aménagements.

Les espèces sont choisies pour favoriser le retour des populations autochtones. Les légumineuses : Lotier corniculé, Trèfle blanc, Trèfle hybride, Sainfoin et les graminées : Fléoles des prés, Fétuque rouge, Raygrass anglais, Agrostide stolonifère. Elles permettent

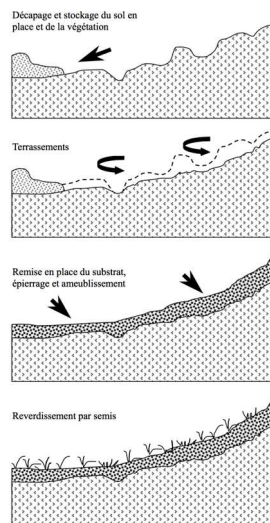


Figure 27 - Etapes techniques du terrassement des pistes de ski (Gros, 2002)

d'obtenir une couverture dense et un réseau racinaire très développé favorisant la restructuration par la cohésion du sol.

Les exsudats racinaires, riches en polysaccharides, stabilisent les agrégats directement, ou indirectement en fournissant une source d'énergie pour les organismes rhizosphériques qui, à leur tour, sécrètent des polysaccharides agrégant améliorant à leur tour la structure du sol.

La société d'exploitation des remontés mécaniques de la station de ValThorens, aidée par la société "Blé des Cimes", emploie depuis une quinzaine d'années une méthode particulière de végétalisation de ses pistes de ski, évitant l'apport de matières organiques exogènes (Gros, 2002).

L'itinéraire technique est le suivant :

- Réalisation d'une culture monospécifique de blé (*Triticum aestivum*) directement sur les surfaces dénudées l'année du terrassement qui précède l'ensemencement de graminées pérennes. Cela permet de préparer et d'augmenter le succès des étapes suivantes de la végétalisation. Cela pourrait être envisagé pour l'amélioration de la terre stockée dans un projet d'aménagement urbain.

Le blé est choisi pour sa croissance rapide et son puissant système racinaire « très actif en matière de production d'exopolysaccharides impliqués dans la formation des agrégats du sol ».

- « L'année suivante, le semis d'un mélange d'espèces de graminées vivaces et de légumineuses accompagne un deuxième semis de blé. Le mélange se compose de graines de fléole de prés (*Phleum pratense*) (45 %), de fétuque rouge (45 %) (type gazonnant: *Festuca rubra* L. *commutata* Gaud et type traçant: *Festuca rubra* L. *rubra*), de lotier corniculé (*Lotus corniculatus*) (5 %) et de trèfle (*Trifolium*

repens, *Trifolium badium*, *Trifolium pratense*) (5 %) ». Le blé devient co-dominant avec la fléole des prés, la fétuque rouge est présente mais ne dépasse pas 5 % en terme de densité.

Les années suivantes, la dynamique de colonisation donne à la fléole des prés la dominance à la quatrième année et la densité de la fétuque rouge augmente pour à son tour dominer sur les autres espèces. Les espèces autochtones colonisent ensuite progressivement le milieu.

Cet exemple est intéressant, on retiendra la possibilité d'utiliser un couvert annuel de blé utilisable sur les andains dans le cas où le stockage dépasse une année, on pourra envisager un second semi de graminées vivaces tel que décrit ci-dessus. Cependant, selon les objectifs du projet, plusieurs années sont nécessaires avec cette méthode pour retrouver un sol stable et fertile.

Ainsi, l'on pourrait imaginer à la réalisation de l'aménagement, une pratique différente étalée dans le temps qui par un choix judicieux d'espèces au fort pouvoir restructurant, pourrait améliorer le terrain pour les espèces suivantes.

3.3.2 Des sols noirs fertiles en Amazonie grâce à l'utilisation du biocharbon

Les sols noirs d'Amazonie sont des anthroposols semi naturels travaillés par les paysans qui incorporaient du charbon avec le fumier épandu. Aujourd'hui ces sols sont très prisés par les cultivateurs pour leurs qualités agronomiques.

Le biochar est un amendement en biocharbon peu connu, obtenu par la décomposition thermique de MO riches en carbone dans un environnement pauvre en oxygène. Les résultats de la thèse de Sara

Lauron-Lanctôt ont montré que la qualité d'un amendement en biochar dépend de la nature de la MO utilisée et du procédé de fabrication. Son utilisation a généré une meilleure réserve minérale et activité microbienne du sol, favorisant ainsi la CEC et les mycorhizes de la rhizosphère. Une réduction de 30 % des pertes des nitrates et une meilleure structure pour les substrats utilisés ont été observées. Grâce à son effet tampon sur le pH du sol et de sa capacité à retenir à sa surface les cations, le biochar améliorerait la fertilité des sols à raison de 10 % v/v. Cependant, cette étude n'a pas montré d'amélioration sur la croissance des plantes étudiées, les résultats sont donc à prendre avec prudence. On pourrait expérimenter sur un projet d'aménagement urbain, ce type d'amendement dans des sols sableux drainants, ne retenant pas ou peu les nitrates, mais également dans un sol avec une faible CEC, ou un pH instable.

3.3.3 Facilitation de la recolonisation biologique des sols de plantations au contact d'une « trame brune ».

La connectivité des paysages n'a été que trop peu souvent prise en compte par le passé dans les opérations de requalification de friches et de restauration de sols urbains ». Les Trames verte et bleue qui ont pour objectif d'améliorer ces connectivités sont depuis le Grenelle de l'environnement de mieux en mieux considérées.

Cependant « dans le cas de la préservation de la ressource sol, le terme de « trame brune » été évoqué à plusieurs reprises et témoigne de la nécessité de permettre le déplacement des organismes de la faune du sol, y compris dans les sols urbains ». Nous savons que la pédofaune est le moteur de la vie biologique des sols. Or, au sein de la matrice paysagère urbaine actuelle, de nombreux obstacles constituent une barrière au déplacement de cette faune.

L'étude menée au cours de la thèse de Burrow s'inscrit dans un projet de réaménagement en éco quartier de la friche urbaine de l'Union, en métropole lilloise. Pour ce projet, trois millions de m³ de terre végétale sont nécessaires pour les aménagements paysagers. Afin d'économiser la consommation de terres agricoles et minimiser les coûts de transports, l'étude de la valorisation des matériaux issus de l'activité urbaine et de la déconstruction ont été testés.

L'étude a montré une corrélation entre les modes de gestion des horizons de surface et leur influence sur la composition des communautés. Celles-ci sont plus riches et plus abondantes pour « les modalités bénéficiant d'un couvert herbacé ou arbustif relativement dense procurant abris, humidité et micro habitats favorables à leur installation et à leur activité ».

Les résultats montrent que « la présence de **compost** ajouté au limon extrait sur site améliore grandement ses capacités d'accueil de la pédofaune via les teneurs en carbone organique et en azote plus élevées ». De même, la connectivité avec le maillage écologique local accélère et facilite le processus de colonisation, notamment pour « les collemboles, les acariens oribates et les vers de terre ». La biodiversité des délaissées urbains, tiers paysages et jardins aux alentours immédiats fournissant autant de sources de recolonisations potentielles.

Les projets d'urbanisme durables doivent prendre en compte, lors de leur conception, la connectivité des sols restaurés ou construits, avec le maillage écologique local. Cela facilitera en effet la colonisation par la pédofaune diversifiée et fonctionnelle, qui participe activement à la fertilisation biologique du sol. Enfin, le mode de gestion des horizons de surface, les sols recouverts de mulch ou de **BRF** se révèlent être bien plus accueillants pour la pédofaune que les sols laissés nus ou enherbés.

3.3.4 L'amélioration biologique des sols par des amendements organiques

Ces deux matériaux recommandés à plusieurs reprises dans les différentes techniques d'amélioration du sol répondent à de nombreux critères de qualité du sol attendus.

3.3.4.a Compost

D'une manière générale, le compostage peut être défini comme étant un procédé biologique aérobie de dégradation et de transformation de la matière organique, permettant d'obtenir un produit valorisable à partir d'un déchet. De façon plus précise, il est défini comme « un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes, évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost. » (Albrecht, 2007).

De nombreuses études ont montré le rôle bénéfique sur les qualités physiques et chimiques de l'amendement du sol par du compost : « Une amélioration des propriétés physiques, une augmentation de la conductivité hydrique et une diminution de la densité des sols ont été observées. {...} De même, l'incorporation de compost au sol s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface du sol » (Albrecht, 2007) en améliorant sa porosité et sa structure. De plus les amendements en compost augmentent le pouvoir tampon et la capacité d'échange des sols, qui sont des critères de qualité d'un sol. Enfin, « l'incorporation de composts permet de réduire l'acidité du sol, et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers la plante » (Albrecht, 2007).

3.3.4.b Bois Raméal Fragmenté (BRF)

Née au Canada en climat tempéré dans les années 90, cette démarche d'amendement par apport de bois raméal fragmenté reflète une démarche d'imitation des écosystèmes arborés. Elle vise à rapprocher le statut biologique du sol cultivé à celui du sol forestier. Deux techniques d'apport de BRF ont été expérimentées à ce jour : par enfouissement et en mulch. De nombreuses études ont été menées sur les effets de l'apport de BRF dans différentes conditions (différents environnements climatiques et pédologiques). Les conclusions de ces études montrent que le BRF enrichit le sol en MO, accroît la disponibilité en nutriments à moyen terme et stimule l'activité biologique du sol. Sous forme de mulch, il améliore de façon significative les propriétés physico-hydriques du sol (porosité, humidité, structure, compaction, infiltration). **Il induit également l'immobilisation de l'azote et du phosphore, ce qui peut entraîner une baisse d'éléments nutritifs la première année d'apport** (Barthès et al., 2010). Cet effet peut cependant être compensé par un apport de compost riche en azote la première année.

Les modalités d'apports sont définies selon certaines recommandations : dimensions des fragments, sélection des espèces, proscription de l'utilisation des rameaux > 7cm de diamètre, la dose et la périodicité (Barthès et al., 2010).

3.4 MISE EN PLACE D'UN OAD POUR L'AMÉLIORATION DU SOL DANS UN AMÉNAGEMENT PAYSAGER

Nous avons vu que la mise en œuvre des chantiers comporte des problématiques à intégrer telles que le temps imparti, l'usage d'engins lourds, la présence d'une terre végétale de mauvaise qualité, des travaux en période humide, la gestion de l'eau, la qualité et la pérennité des plantations, la gestion de déblais et remblais, avec

une contrainte budgétaire, et un sol qu'il faut comprendre et connaître. De plus, à travers les différents cas d'études, on découvre un large panel de solutions pouvant être envisagées dans des situations très diverses. Après avoir analysé les différents indicateurs de qualité, à l'aide d'un diagnostic, une sélection de solutions est requise. Néanmoins, l'échantillonnage reste spécifique à chaque étude, selon le contexte du site, et peut nécessiter une étude approfondie afin de déterminer ses modalités.

Une fois les échantillons collectés, il est possible de les faire analyser par des laboratoires spécialistes qui proposent différentes analyses :

- Physique simple pour la texture et la granulométrie, complexe pour le type d'argile

Chimique pour le pH, l'azote, le phosphore, le potassium, le pourcentage de matière organique, la capacité d'échange cationique, le rapport C/N, les oligoéléments et les éléments NPK

Biologique avec la respiration et l'activité enzymatique

Pollution avec les éléments traces métalliques, hydrocarbures et PCB

Dans le cas où l'aménageur ne souhaite ou ne peut pas faire appel à des spécialistes du sol, il doit alors interpréter les résultats par lui-même. Ces informations sont alors souvent incomplètes où ne sont pas suffisamment adaptées aux aménagements paysagers. Dans ce cas, afin de guider l'aménageur à travers les différentes étapes pour l'amélioration du sol, un Outil d'Aide à la Décision a été envisagé et présenté ci-dessous (cf figuree 28).

L'outil se présente sous la forme d'un arbre de décision avec des questions fermées. Chaque réponse oriente soit vers des préconisations, soit des solutions envisageables selon les caractéristiques du sol et les attentes du projet. Elles sont consignées dans les fiches supports qui accompagnent l'OAD (cf figure 29,30 et 31).

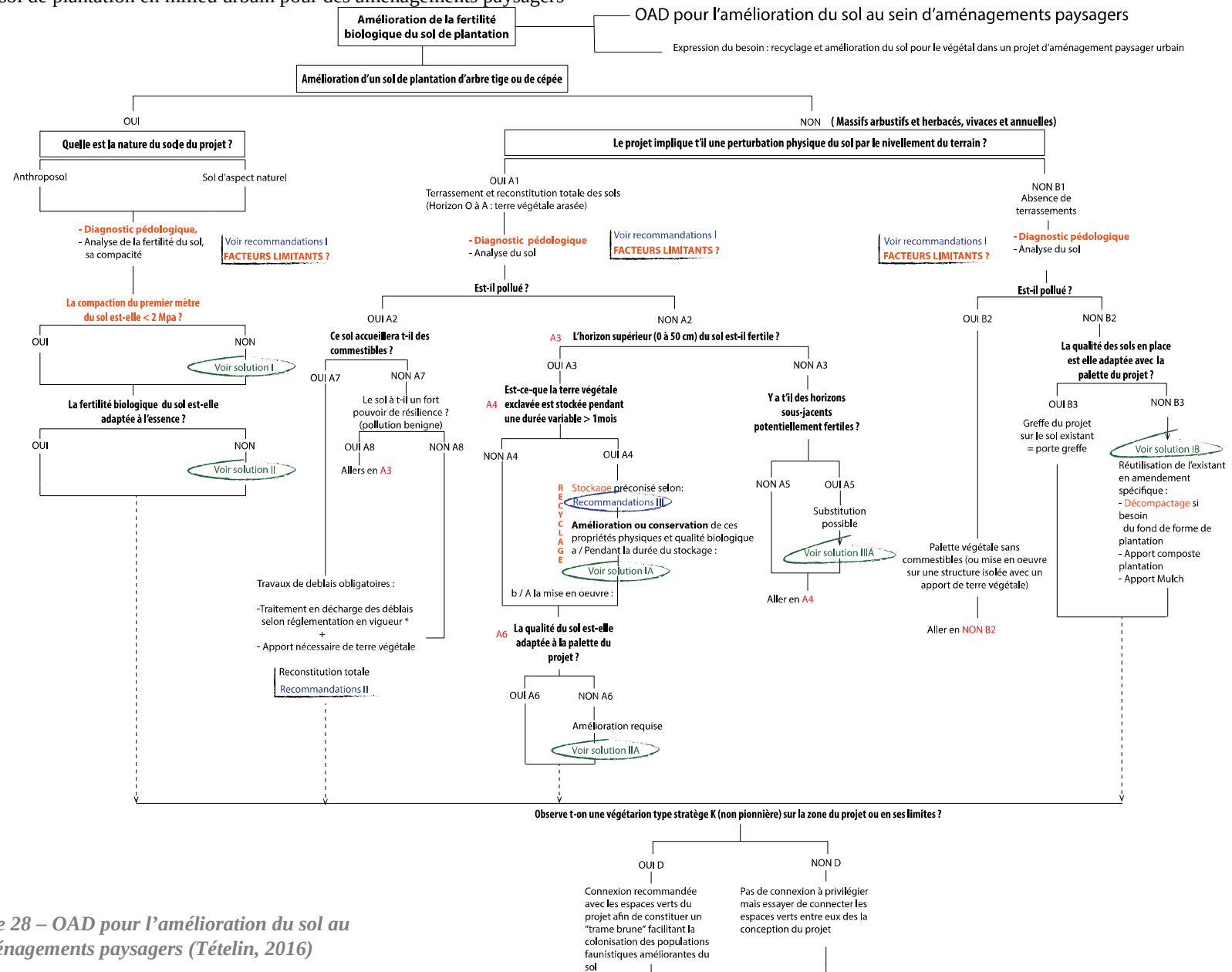


Figure 28 – OAD pour l'amélioration du sol au sein d'aménagements paysagers (Tételin, 2016)

N° OAD	RECOMMANDATIONS CORRESPONDANTES	
Diagnostic Quelle est la nature du socle du projet ? Recommandations I	- Observations de terrain → Quel est le contexte du site, du sol ? & - Documentation et recherches bibliographiques	- Géographique ? → Urbain, Naturel, Rural - Géologique ? → Quelle est la nature du sous sol ? - Roche mère acide / basique ? Altérée ? - Risque d'hydromorphie ? Aide avec étude géotechnique - Historique ? → Quel usage a été fait sur ce sol ? Et aujourd'hui ? - Botanique ? → Quelles espèces poussent ici ? Plantes bioindicatrices et type de sol (CFPPAH, 2012) - Climatique et hydrologique ? → Tempéré, continental, océanique ? Quelle hydrologie ? Nappe phréatique ? Situation dans le bassin versant ?
	- Echantillonner le sol à améliorer → - Prélèvement ponctuel - Carottage sur 1 mètre idéal pour définir les différents horizons	
	- Analyser en laboratoire (AUREA SAS laboratoire) → Détermination des valeurs des principaux indicateurs de qualité d'un sol - Si nécessaire analyses supplémentaires (Pénétromètre, Tensiomètre, Optimum Proctor)	
	- Identifier les facteurs limitant → - RU - Risque hydromorphie - Sol séchant - Eléments majeurs corrects	→ Attention aux aspects physiques et hydrique à court terme Texture favorisant eau et air dans le sol - 0,3 m - - - - - - 1 m - - - - - Sol Qualité biologique prépondérante Qualité physique prépondérante
Quelle gestion après les plantations ? Recommandations IV	- Recycler la matière organique → - Conserver les MOF, installation d'un composteur public, travail des bordures hautes pour limiter l'éparpillement (feuilles, mulch) - Gestion des invasifs → - Si plante dénaturant le projet (ex liseron, ronce, etc.), semi fétuque, treffle et arrachage manuel ou leur donner place !	

Figure 29 - Fiche recommandations n°1 (Tételin, 2016)

N° OAD	RECOMMANDATIONS CORRESPONDANTES •
Reconstitution totale Recommandations II	Il est recommandable de reconstituer un horizon fertile sur 0,8 à 1 m de hauteur pour des arbres, la hauteur restant modulable et abaissable pour les massifs Matériaux de reconstitution d'après Sol Paysage - Compost : fraction passant à 2cm de DV, %MO >50% (NF U44-551 ou NF U 44-051) - Apport de terre fertile : TF - Terre simple : TS (limons argileux, organiques etc.) - Limons d'apport : LA augmentant la RU si sol séchant - Mélange Terre Compost : MTC 2 à 3 volumes pour 1 de compost - Mélange Terre Remblais : MTR (TS + remblais contrôlés) - Mélange TS - Mélange Terre Sol Compacté MTSC <i>limitant la perméabilité si sol trop filtrant</i> - Mélange Terre Pierre MTC Sénarios de reconstitution selon la nature du sol Gros sujet Jeune plant Horizon humifère avec compost Apport limoneux RU bonne Sol d'origine amélioré mécaniquement Horizon humifère avec compost Apport limoneux avec inclusion jusqu'à la nappe RU Sol d'origine séchant Nappe alluviale
Stockage TV et amélioration du stock Recommandations III	Le stockage implique en amont le retrait de la plisse compostable à haute température, si la couverture végétale est dense et composé d'adventices ou de nuisibles (ronces, liserons, chardons), il est possible d'arracher par poche ou d'élimination mécanique par broyage, griffage puis disquage croisé du sol sur 10 cm Attention pas de mottes d'herbes dans le stock sinon risque d'altération et de méthanisation et formation de Gley hydromorphe Mise en oeuvre stockage : - Prélevé entre Avril Mai à Octobre en période non humide - Couche décapée avec MO% > 1%, adapter la hauteur de l'arase - Mise en Andains selon règles professionnelles - Drainage à la base de l'andain - Préconisation 1,5 à 2 m de hauteur au maximum avec le pas de temps d'un aménagement paysager - Largeur maximale de 3 m si stockage = 1 an - Si les dimensions sont plus importantes, et que le pas de temps le permet > 1 an, possible avec arbustes de restructuration de la terre, cliblage nécessaire à la mise en oeuvre - Mise en oeuvre avec engins sur chenilles pour limiter le tassement - Opération de criblage si EG > 20 cm et 40% < EG < 60% massique

Figure 30 - Fiche recommandations n°2 (Tételin, 2016)

N° OAD	SOLUTIONS CORRESPONDANTES
Compaction > seuil de 2 MPa ? Solution I	✿ Si le sol est susceptible d'être trop compact, décompacter le sol ou le fond de forme + parois - Fond de forme et parois verticales fosses à décompacter - Matériaux fertiles stockés sensibles à la mise en oeuvre - 1 m décompacté nécessaire. Exemple : si la fosse fait 80 cm de profondeur, il faut décompacter sur 20 cm au-dessous du fond de forme ✿ Outils - Soussoleuses pour un sol argileux ou limoneux ✿ Dimensionnement de plantation - Privilégier l'horizontalité plutôt que la verticalité en cas de sol compact - Ne pas contraindre verticalement avec un bac de plantation limiter le recours à un coffrage
Améliorer la fertilité Solution II : Arbres Solution IIA : Massifs	✿ Amélioration de la structure : meilleure RU, moins de compaction - Apport de compost : 40% en volume de la fosse si < 50 cm de profondeur, mélange possible sur toute la hauteur - Apport de compost en surface en mélange superficiel 30-40 cm ✿ Amélioration de la texture : - Apport en terre plus fine ou plus légère selon possibilité de mélange - Amendement minéral en sable si gazon, et pas pour des essences ligneuses même si hydromorphie, préférer un drainage - Pour un sol séchant, l'amendement en argile est coûteux et peut être inefficace préférer une palette adaptée aux sols séchant ✿ Pour les massifs - Si la fosse < 50 cm de profondeur, décompacter le fond de forme - Restructuration du fond de forme avant la mise en oeuvre du stock et plantations avec semi plantes restructurantes ✿ Limite assèchement du sol + Mulch en surface épaisseur > 5 cm Ligneux 5 - 10 ans Pailleux 3 - 4 ans Herbeux = 1 an Minéralisation C/N décroissant (Tournesol, Sarrasin, Phacélie, Lin, Moutarde, radis, Navette, Féverole, Sorgho, Moha, Vesce, Cameline etc.)
Améliorer stockage Solution IA	✿ Si le stockage > 1 saison - Réaliser un semi de plante couvre sol type prairie pour l'aération et l'entretien de la MO du stock - Bâchage possible si stock sec, attention utiliser une bache blanche augmentant l'albédo ✿ Possibilité d'amender partie sommitale - Avec de l'argile pulvérulente en cas de substrat avec un CEC faible - Avec des carbonate CaCO₃ en cas de CAH instable, ou d'acidité ✿ Semer un couvert végétal à cycle court - Cycle de végétation entre 50 et 90 jours : (Tournesol, Sarrasin, Phacélie, Lin, Moutarde, radis, Navette, Féverole, Sorgho, Moha, Vesce, Cameline etc.) - Laisser en mulch le couvert puis SDSC ou si stockage > 1 an, possibilité de mettre des espèces à cycle long - Détruire la couverture de l'andain avant sa mise en oeuvre ✿ Attention pas d'ajout de compost
Amélioration de la fertilité sans terrassements Solution IB	✿ Défricher sans exporter la MOF - Broyage et compostage, utilisation disque croisé sur 10 cm et griffage - Décompactage si nécessaire ✿ Semis de plantes améliorantes - Seigne 100kg/ha, trèfle 10kg/ha, Vesce 30kg/ha > 1 an, (couvert végétal (Turlin et al., 2013)) ✿ Amendements - Apport de compost évolué 20 à 30t/ha à renouveler si nécessaire - 200 Kg/ha de CaCO₃
Substitution Solution IIIA	✿ Fonctionner par horizon - Substitution d'un horizon fertile enfoui sous un horizon non fertile : Exemple projet - Risque de coût élevé Sol initial Remblai sableux organique de surface Remblai sableux caillouteux Remblai sableux caillouteux Limon peu remanié Tri + Traitement Fertile Non Fertile Sol fertile du projet

Figure 31 - Fiche solutions (Tételin, 2016)

Cette proposition d'outil permet d'intégrer rapidement la temporalité, la conception dans la gestion du projet. Les différents points de solutions possibles sont une aide pour valoriser et améliorer les sols de plantations urbains, adaptés à une majorité de sols rencontrés dans les projets d'aménagement paysager urbain en milieu tempéré.

4 MISE EN APPLICATION DE L'OAD POUR LA VALORISATION DU STOCK DE TERRE VÉGÉTALE DE LA ZAC DES ONGROIS.

L'application de l'OAD a été expérimentée pour répondre à une demande de l'agence Vu d'Ici, pour valoriser la terre excavée sur le site de la ZAC des Ongrois se situant à Ecoflant près d'Angers ([Annexe n°7](#)).

Le site est implanté sur un ancien sol des Basses Vallées Angevines remanié depuis son exploitation agricole. Le projet est décomposé en trois tranches, pour le moment, seuls les travaux de la première tranche ont commencé et font l'objet de ce test ([Annexe n°8](#)).

4.1 LES ENJEUX ET LES ATTENTES DU PROJET : UNE PALETTE VÉGÉTALE DIVERSIFIÉE

Parmi les axes fédérateurs de ce projet urbain, il s'agit d'apporter une image verte pour le quartier, à travers la création d'une structure végétale majeure, mais aussi des jardins familiaux. Le sol a donc toute son importance dans ce projet, pour aboutir aux enjeux de végétalisation pérenne et de continuité écologique. Le végétal souhaité est un végétal évocateur des milieux naturels, tout en marquant l'urbanité du cœur de quartier.

L'enjeu majeur pour l'agence Vu d'Ici est la valorisation du stock de terre excavée, pour ensuite être réutilisée en sols de plantation. Le but est d'économiser les apports en terre végétale et surtout de pérenniser les plantations pour ce projet, dans lequel le végétal a un rôle majeur.

La tranche 1 représente 4,8 ha pour 109 logements dont 39 col-intermédiaires, 26 maisons groupées et 44 lots libres. Il y aura donc des jardins privés d'une part mais également des espaces végétalisés publics, importants pour la cohésion et l'ambiance du quartier. La palette végétale du projet ([Annexe n°9](#)) montre bien, par le choix des essences, l'idée d'adapter le sol au projet et non l'inverse.

4.2 ENJEU ET DIAGNOSTIQUE : VALORISER UN SOL SABLEUX REMANIÉ ET NON FERTILE

Un diagnostic géotechnique a permis d'appréhender les différents horizons de sol présent. On distingue trois horizons différents dont un premier horizon très sableux, à dominante de sable. Il semblerait que l'horizon organique de surface ait été déblayé par le passé et soit donc aujourd'hui inexistant. L'actuel horizon de couverture n'est donc pas un horizon de surface adapté à tous les végétaux de la palette. En effet, certaines essences telle que *Diospyros kaki*, *Styrax japonica*, *Magnolia sp.*, ou encore *Lagerstroemia indica* nécessitent un sol humifère pour leur développement. L'enjeu de valorisation de ce sol comme terre de plantation fertile est donc un défi supplémentaire étant donné sa nature initiale.

De plus, par son récent passé agricole, il y a de fortes chances pour qu'une semelle de labour soit présente. En outre, la nature sableuse de ce sol lui confèrera des propriétés de sol très filtrant, à même de lixivier les sels nutritifs présents dans la solution du sol. Néanmoins, la fertilité physique semble moins apte au compactage étant donné la texture sableuse du sol.

L'analyse des principaux paramètres physico-chimiques du sol stocké a été effectuée par un laboratoire et les résultats sont consignés en [Annexe n°10](#). Pour ce faire, il a été supposé après la documentation sur l'historique du site ainsi que sur les résultats des sondages réalisés par l'étude géotechnique, que le substrat arasé serait relativement homogène. L'échantillonnage a donc été réalisé directement sur le stock au mois de mai 2016. Celui-ci était déjà stocké depuis l'automne 2015. La demande de l'agence était davantage orientée sur la recherche d'améliorations possibles, directement sur le stock de terre, l'objectif étant de la valoriser, en en faisant un apport fertile, destiné aux futurs massifs.

En synthèse, l'analyse réalisée par le laboratoire AUREA indique des valeurs d'indicateurs de la qualité du sol insuffisante au regard des valeurs de référence du tableau 1 au chapitre 2 :

- une texture inadaptée avec 5 % d'argiles, 14 % de limons et 81% de sables
- des taux d'azote total, de matière organique, de carbonates très faibles
- une CEC quasi nulle avec un excès en cation sodium, potassium et calcium

4.3 RECOMMANDATIONS ET SOLUTIONS PRÉCONISÉES SUITE À L'UTILISATION DE L'OAD

L'[annexe n°11](#) présente les deux chemins suivis : les arbres en rouge et les massifs en violet :

Il faudrait appliquer les recommandations des figures 29-30 et les solutions I, II, IA, IIA et IIIA de la figure 31, afin d'obtenir des sols qui respecteront principalement les critères de qualité pour un sol de plantation. Même si la typologie des sols est très fluctuante, en

respectant les critères intégrés dans l'outil, le végétal pourra assurer une bonne reprise (excepté des végétaux aux particularités culturelles tels que les végétaux acidophiles ou calcifuges). Enfin cet outil est une première version qui nécessiterait d'être testé par rapport aux utilisateurs, afin de voir les éléments à lui apporter où à corriger.

CONCLUSION

Depuis l'application du second Grenelle de l'environnement, l'économie de la ressource en sol est devenue un enjeu de sa préservation. Néanmoins, la considération des sols, tels qu'un héritage, n'est pas intégrée dans les mœurs de tous. Les sols d'aménagements paysagers urbains sont le reflet de l'ère anthropogène où, la notion d'héritage se dissout dans des matériaux dénaturés par les activités humaines.

Pourtant, la valorisation du sol permet aujourd'hui son recyclage d'une part, et limite tout de même, d'autre part, l'érosion de la ressource en sols fertiles. En dépit de cela, il est encore trop fréquent de voir des aménagements nécessitant des apports conséquents en terre fertile. Les objectifs de rendu et de résultats immédiats des projets, semblent largement incriminés dans cette logique d'apport, qui oublie le facteur temps, nécessaire à la maturation du système sol-plante.

En effet, la plupart des aménagements paysagers entraînent une perturbation physique du sol qui impacte ses fertilités, les préserver nécessiterait un temps de résilience minimale. Le pas-de-temps généralement compris entre un à cinq ans dans un projet d'aménagement est trop court pour retrouver un écosystème du sol. Il faudrait entre dix et quinze ans pour retrouver un écosystème avec une végétation pionnière diversifiée et un horizon humifère.

Notre technicité permet, cependant de reconstituer artificiellement un sol fertile pour le végétal.

De plus, bien que la reconstitution artificielle d'un horizon humifère et organique prenne modèle sur le système forestier et permette au végétal de mieux se développer, il reste dépendant des couches sous-jacentes. On comprend alors l'importance de la prise en considération de tous les paramètres de la qualité du sol lors de la mise en place d'un projet d'aménagement.

Pour étayer l'élaboration d'un diagnostic le plus complet possible d'un sol et s'assurer qu'un maximum de paramètres soit pris en compte par l'aménageur, un OAD a été élaboré.

Cet outil comporte un certain nombre de recommandations qui ont montré leur efficacité dans l'amélioration du sol

Cependant, il n'a pas pu être testé par des professionnels sur le terrain, avant cela il faudrait le rendre plus ergonomique. S'il se veut exhaustif, son efficacité est limitée par l'extrême diversité des sols rencontrés.

Il ne prend par ailleurs pas en compte l'aspect financier, qui détermine principalement les choix des aménageurs. En outre, il s'appuie sur des apports empiriques et théoriques, mais n'a pas été expérimenté concrètement, ce qui aurait permis de vérifier que l'outil est adapté et suffisamment complet. Enfin, des recherches et des expérimentations complémentaires demeurent nécessaires afin d'indiquer des gammes de valeurs uniformes, adaptées aux aménagements paysagers.

L'étude de différentes méthodes existantes pour l'amélioration du sol confirme que l'apport en compost et en mulch ont un effet bénéfique sur la reprise à court terme du végétal, et permet d'obtenir des conditions hydriques et de structure satisfaisantes. L'apport de compost mature permet de recréer un horizon humifère améliorant la CEC, et favorise l'activité microbiologique sur les quinze/vingt premiers centimètres dans la plupart des sols.

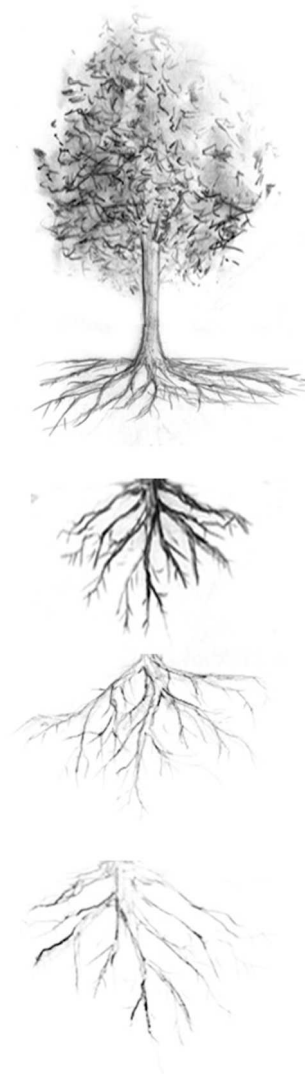
Dans certains cas ces améliorations ne sont pas suffisamment probantes et n'apportent pas les résultats attendus. Des interrogations demeurent dans le milieu professionnel et il serait intéressant d'approfondir des recherches afin d'identifier les facteurs limitants. Il semble que la réserve hydrique soit en jeu et dans ces cas-là, les

mulch inopérants avec les îlots de chaleur urbains. Ce qui pose question sur la mise en œuvre de fosses de plantation inadaptées dans un environnement possédant un albédo nul.

La technicité nous permet d'adapter un projet d'aménagement à presque n'importe quel sol dans un contexte où il devrait pourtant être pensé en priorité. Les analyses du diagnostic pourraient offrir une opportunité de choisir les végétaux les plus adaptés aux différentes caractéristiques qui composent le sol du projet.

L'amélioration du sol doit donc rester maîtrisée et non excessive, ni systématique. Il semblerait nécessaire de se réinterroger sur la question de l'usage actuel du sol, qui, dans un projet d'aménagement paysager, reste encore trop souvent, non prioritaire. La préservation des sols nécessitera de repenser l'esthétique de l'aménagement, afin d'envisager des végétaux peut être plus spontanés, mais conservant l'identité du sol. L'approche du Tiers Paysage évoquée par le paysagiste Gilles Clément semble montrer la préciosité de ces réservoirs de biodiversité, délaissés, générés par l'homme. Nous pouvons nous demander jusqu'où il va falloir éroder la ressource en sol, en perpétuelle résilience, pour comprendre l'intelligence de l'implantation spontanée du végétal ?

Enfin, le fondement des habitudes professionnelles est remis en cause aujourd'hui, entre l'artifice pur et la naturalité quasi impossible. Finalement, en dépit des moyens techniques existants pour créer un aménagement paysager, il serait bon de repenser l'amélioration du sol de manière raisonnée, en sortant de la dichotomie « adapter le sol au projet » ou « adapter le projet au sol ».



BIBLIOGRAPHIE

- Articles :

- o **Antoni V.** Commissariat général au développement durable (2011). L'artificialisation des sols s'opère aux dépens des terres agricoles. Le point sur, 75, 4 p.
- o **Barthès B.G., Manlay R.J., Porte O.** (2010). Effets de l'apport de bois raméal sur la plante et le sol : une revue des résultats expérimentaux. Cahiers Agricultures, 19 N°4, pp. 280-287.
- o **Boulaine J.** (1997). Histoire abrégée de la Science des Sols. Etude et gestion des Sols, 4, 2, pp. 141-151
- o **Cadillon A.** (2014). Fertilité des sols : la gérer maintenant pour mieux produire demain. Alter Agri, 128, pp. 5-22.
- o **Degoutte G. & Royet P.** (2009). Aide mémoire de mécanique des sols. ENGREF, pp. 22.
- o **Girel J.** (2006). Quand le passé éclaire le présent : écologie et histoire du paysage. Géocarrefour, 81/4, p.23.
- o **Misra R.V, Roy R.N, Hiraoka H.** (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) Rome, 48p.
- o **Muller T., Marie X., Rossignol J.P., Grosbellet C., Ruaud M.** (2012). Travaux des sols, supports de paysage : caractérisation, amélioration, valorisation et reconstitution. Règles professionnelles : travaux de mise en œuvre et d'entretien des plantes, P.C.1-R0, 57 p.

- o **Tchékémian A.** (2007). L'habitat entre ville et nature, de l'ère industrielle à nos jours. Urbanissimo, pp.16-26.
- o **Turlin J.P., Le Roux L., Bruzeau C., Troquer Y., Guil J.** (2013). Couvert végétal : une culture à part entière. Terra (Terragricoles de Bretagne Réussir), 382, 12p.

- Ouvrage :

- o **AFES.** 2008. Référentiel pédologique, Quae, 435 p.
- o **AGRICULTURES & TERRITOIRES CHAMBRE D'AGRICULTURE LANGUEDOC-ROUSSILLON.** 2011. Guide des produits Organiques utilisables en Languedoc Roussillon, Tome 1, Chapitre 2 : Les matières organiques du sol. 12 p.
- o **Delaunois A.** 2008. Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols : destiné aux agriculteurs et aux agronomes. Chambre d'Agriculture du Tarn et INRA de Montpellier, 37p.
- o **DG Environnement.** 2011. Les sols : la face cachée du cycle climatique. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne, Belgium, 24 p.
- o **Eglin T., Blanchart E., Berthelin J., de Cara S., Grolleau G., Lavelle P., Richaume-Jolion A., Bardy M., Bispo A.** 2010. La vie cachée des sols, MEEDDM, 20p.
- o **Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J., Morel J.L.** 2011. Sols et environnement : cours, exercices corrigés et études de cas, Dunod, Paris, pp. 432.

- o **GIS SOL.** 2011. Synthèse sur l'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 24 p.
 - o **Laugier R.** 2012. L'étalement urbain en France : synthèse documentaire. Centre de Ressources Documentaires Aménagement Logement Nature, 23p.
 - o **Ponge J.F.** (2012). Le sol est-il un écosystème ?. 5 p.
 - o **SOLTNER D.** (1992). Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol. Collection Sciences et Techniques Agricoles, 19^{ème} édition, Sainte Gemmes sur Loire.
- Thèse / mémoire :
- o **Albrecht R.** (2007). Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Doctorat Sciences de l'Environnement – Biosciences de l'Environnement, Université des Sciences et Techniques Paul Cézanne Aix-Marseille III, 189p.
 - o **Burrow C.** (2015). Influence des modalités de restauration de sols dégradés sur leur colonisation par une faune du sol fonctionnelle. Doctorat Sciences et Technologies, Ecole Doctorale Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement, Lille, 312 p.
 - o **Georges P.** (2015). La prise en compte des sols pour le renouvellement du patrimoine arboré du Canal du Midi. Mémoire de fin d'études, AgroCampus-Ouest, Angers, 46 p.
 - o **Gouedard Q.** (2014). Les sols urbains, des milieux contraignants pour le développement de l'arbre dans la ville. Mémoire de fin d'études, AgroCampus-Ouest, Angers, 84 p.
 - o **Gros R.** (2002). Fonctionnement et qualité des sols soumis à des perturbations physiques et chimiques d'origines anthropiques : réponses du sol, de la flore et de la microflore bactérienne tellurique. Doctorat Biologie des populations et des écosystèmes, Centre Interdisciplinaire Scientifique de la Montagne de l'Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac, 252 p.
 - o **Laurin-Lancôt S.** (2015). Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomates sous serre : Rétention en nutriments, activité biologique et régie de fertilisation. Mémoire de Maîtrise en sols et environnement, Université LAVAL, Québec, 146 p.
 - o **Razafimbelo-Andriamifidy T.M.** (2011). Séquestration de carbone dans les agrosystèmes à Madagascar : Bilans et protection. Mémoire d'habilitation à Diriger des Recherches, Université d'Antananarivo, Ecole supérieure des sciences agronomiques, Antananarivo, 82 p.
- Plaque :

- o Végétalisation et reconstitution de substrat en réhabilitation de carrières : essai expérimental avec valorisation de compost de boues d'épuration urbaines en milieu méditerranéen. ADEME, 2p.
- Rapport :
 - o **Bourguignon C., Bourguignon G., Bourguignon E.** Nord Papotière : Analyse complète physique, chimique et biologique de sol. LAMS, 2014. 18p. Dossier 7680.
 - o **Bouteiller Y.** Territoire littoraux du Nord-Pas-de-Calais : Evolution de l'artificialisation des sols et impact sur les espaces naturels et agricoles. Lille : CETE Nord Picardie, 2010. 63p. Version 2 – rapport final.
 - o **Kalt S.** Résultats d'analyses TERRE. La Rochelle : Auréa AgroSciences, 2016. 4 p. Rapport d'études n°SENL16024426.
- Cours :
 - o **Bourguignon E.**, 2015. Le sol : apprentissage des bases fondamentales pour une démarche d'aménagement durable [document papier]
Support de cours : Centre de Formation Architectes & Paysagistes Aquitaine
 - o **Corps enseignant CFPPAH**, 2012. Le sol : caractéristiques techniques du sol, besoins des plantes, plantes bio-indicatrices [document textuel]
- Support de cours : Biologie – Phytosanitaire, CFPPAH de Saint Germain en Laye, Bac Pro Travaux Paysagers
- o **Forget V.**, 2013. Les constituants organiques et minéraux du sol [document PDF]
Support de cours : Sciences du sol, AgroCampus Ouest.
- o **Rullier S.**, 2016. Sols et projet de plantations urbaines [document PowerPoint]
Support de cours : Gestion de la plante en milieu urbain, AgroCampus Ouest, M2 – GDV

SITOGRAPHIE

- o [1] Conseil de l'Europe (2016). Convention européenne du paysage.
<http://www.coe.int/fr/web/landscape> (consulté le 24/06/2016)
- o [2] Fédération Française du Paysage (2009). Les missions du paysagiste concepteur. <http://www.f-f-p.org/fr/paysagiste-concepteur/missions/> (consulté le 24/05/2016)
- o [3] LAMS (2011). <http://www.lams-21.com/artc/1/fr/> (consulté le 13/06/2016)
- o [4] EchangeTV Le Valentin (2010). Caractéristiques et propriétés chimiques de sol.
http://echangetv.levalentin.free.fr/Cours/Agronomie/cours_agro/E.Chapitre_3_Chimie_du_sol.pdf (consulté le 10/06/2016)

ENTRETIEN, COMMUNICATION ORALE

- o Entretien avec M. Cannavo P., Enseignant, Site AgroCampus-Ouest Angers, mercredi 13 Juillet 2016.
- o Entretien avec M. Rullier S., Ingénieur responsable projet, Site AgroCampus-Ouest Angers, mardi 14 Juin 2016.
- o Entretien téléphonique avec M. Bourguignon E., Biologiste, mardi 21 Juin 2016.

**AGROCAMPUS
OUEST**

☐ CFR Angers

☐ CFR Rennes



Année universitaire : 2015.- 2016

Spécialité : Paysage

Spécialisation (et option éventuelle) :

Maîtrise d'œuvre et Ingénierie

Mémoire de Fin d'Études

☐ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

ANNEXES

Par : Alix TETELIN

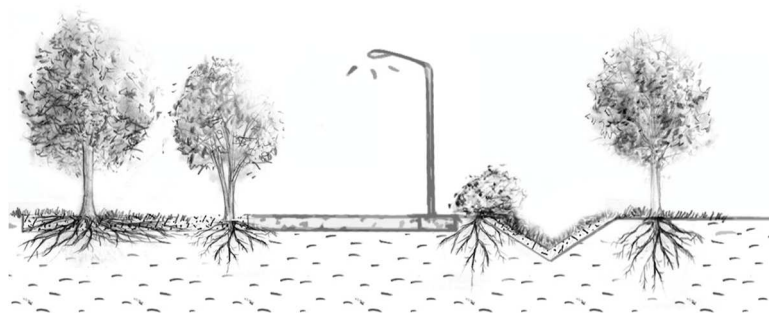
Soutenu à Angers le 12 Octobre 2016

Devant le jury composé de :

Président :

Maître de stage : M. Aurélien Adam

Enseignant référent : M. David Montembault
& Mme Fanny Romain

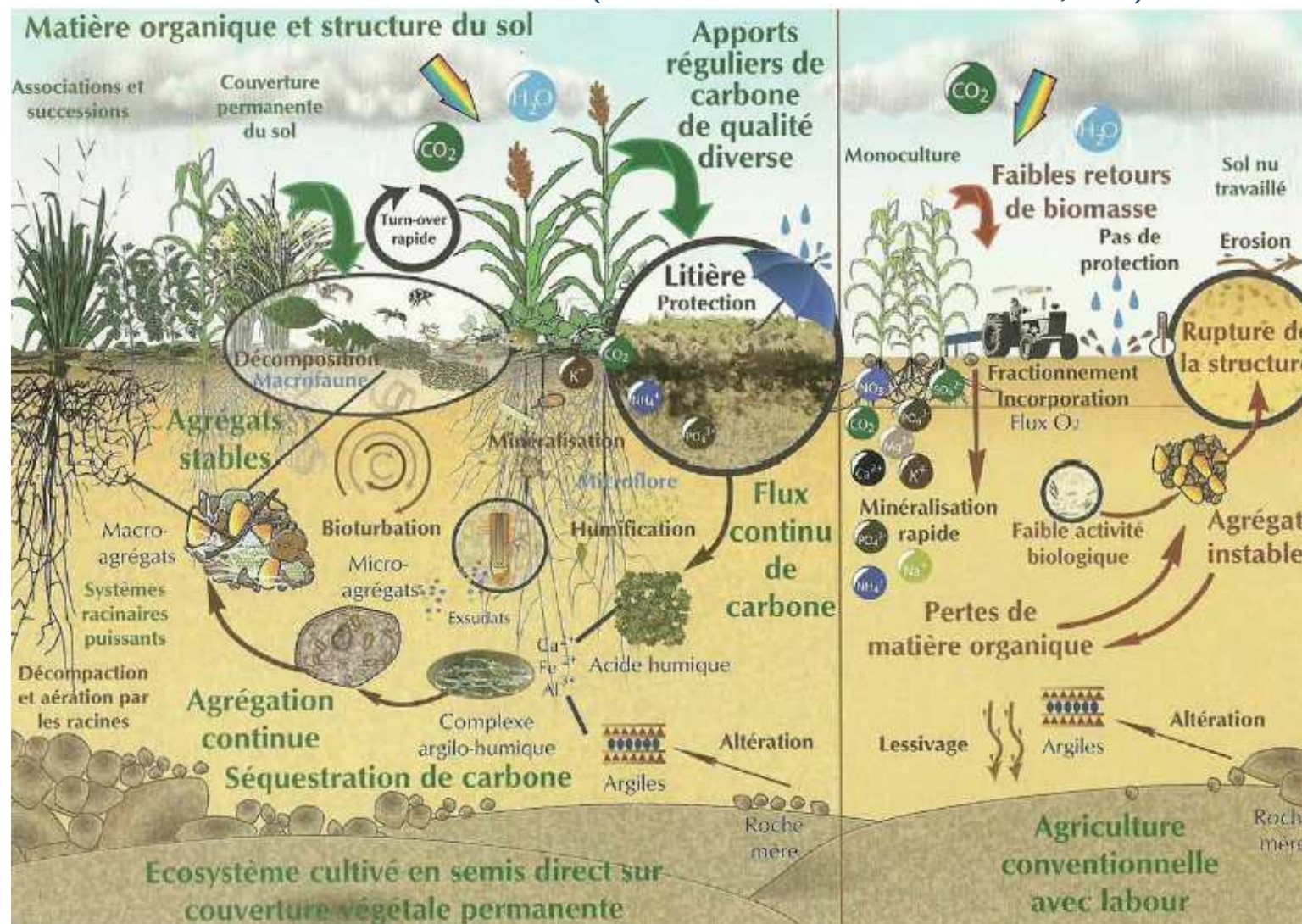


Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'Agrocampus Ouest

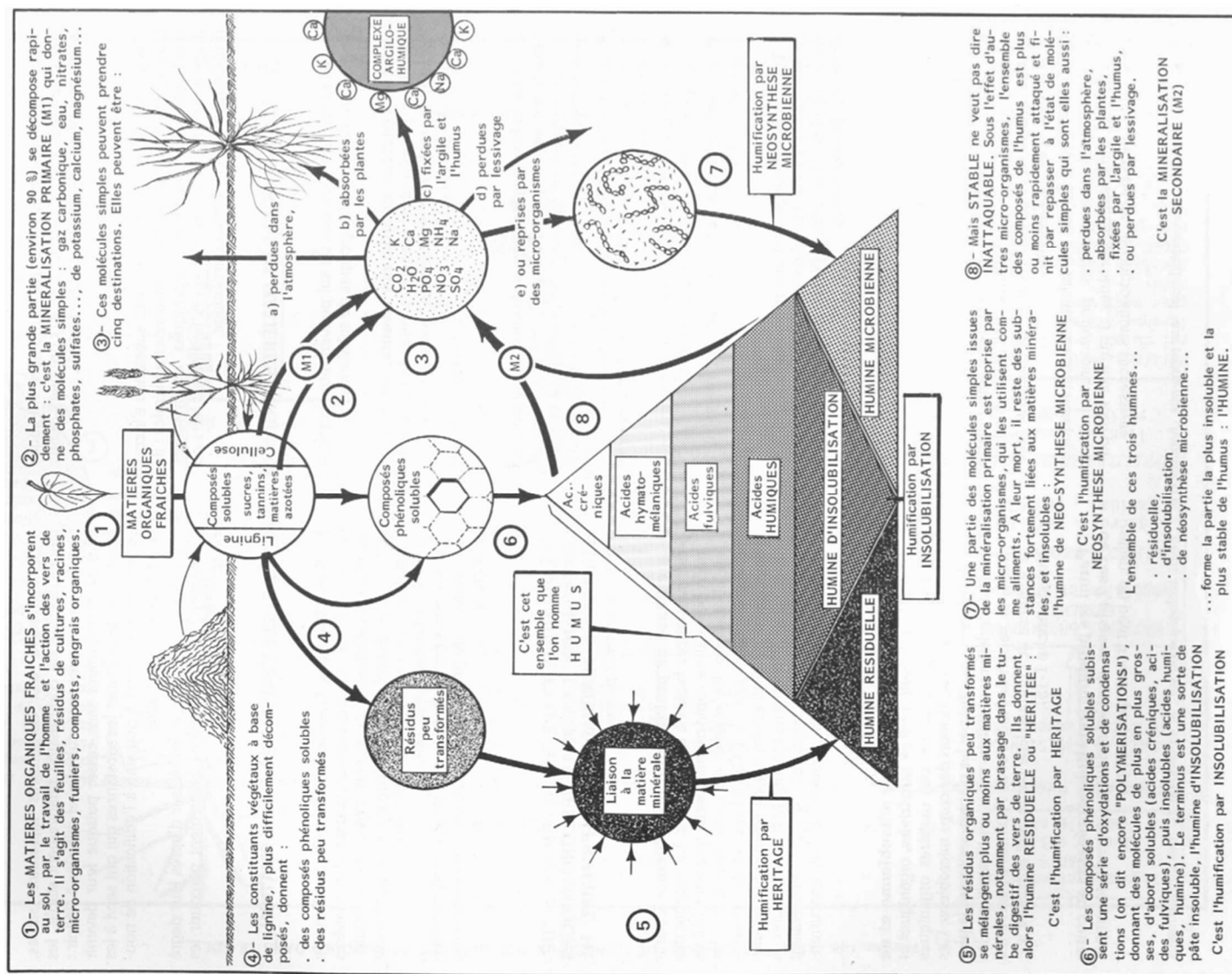
Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



ANNEXE I – CYCLE DU CARBONE DANS LES SOLS (RAZAFIMBELO-ANDRIAMIFIDY, 2011)



ANNEXE II – FORMATION DE L'HUMUS ERECTUS (SOLTNER, 1992)



ANNEXE III – FICHE DE PROFIL RÉALISÉE PAR SOL PAYSAGE POUR LE SITE DE CHENNEVIERES-SUR-MARNE (RULLIER, 2016)

		FICHE DE PROFIL Numéro du profil sur le site : P1 n° 10-039_FOP_001_v1.0								
		Site : Chennevières-sur-Marne								
Date dernière mise à jour : 28/05/2010					Rédacteur : Sylvain Rullier					
Localisation et description globale										
Date observation		26/05/2010		Observateur(s)		Sylvain Rullier -				
Pente		plat		Zone		sud de l'îlot central -				
Couvert végétal		pelouse								
Aspect de surface		sec, assez compact								
Description générale		sol remanié de matériau terreux moyennement fertile sur remblai divers calcaire et sablon avec réseau, substrat d'argile compacte hydromorphe.								
Description par horizon (en grisé, les horizons fortement remaniés)										
N°	Prof.cm	Texture	Humidité	Couleur	Hydro-morphie	Test HCl	Structure	Porosité	Compacité	Commentaire
H1	0-30 variable	Lsa	sec	brun foncé	2	1	Polyédrique	2 - BIO	AC	racines superficielles, 20% cailloux divers, quelques débris
H2	30-55	Sa	frais	marron clair	0	4	Polyédrique	1 - TEX	AC	rare racines, 50% cailloux divers, nombreux débris béton, enrobé... (sous-couche voirie)
H3	55-75 Très variable	S(g)	frais	jaune orangé	0	4	Particulaire	2 - TEX	PC	rare racines, 20% cailloux, présence réseaux
H4	75-100+	Al	frais	marron bariolé	3	2	Massive	0 -	C	10% cailloux, pas de racine, pas de débris



♦ P1 : localisation

♦ P1 : détail des 4 matériaux



♦ P1 : ensemble du profil



♦ P1 : réseau



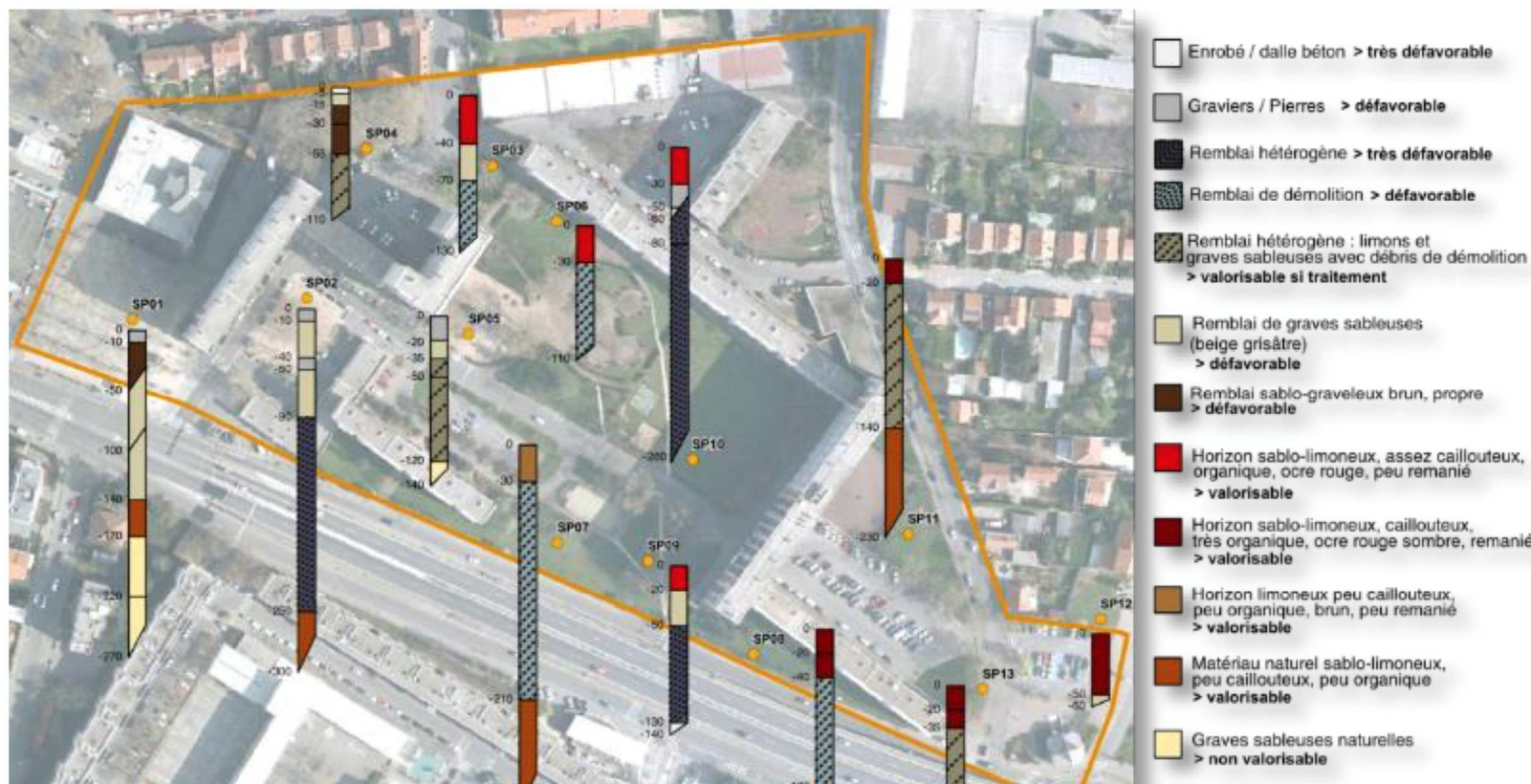
♦ P1 : horizon H1

♦ P1 : horizons H3 et H4

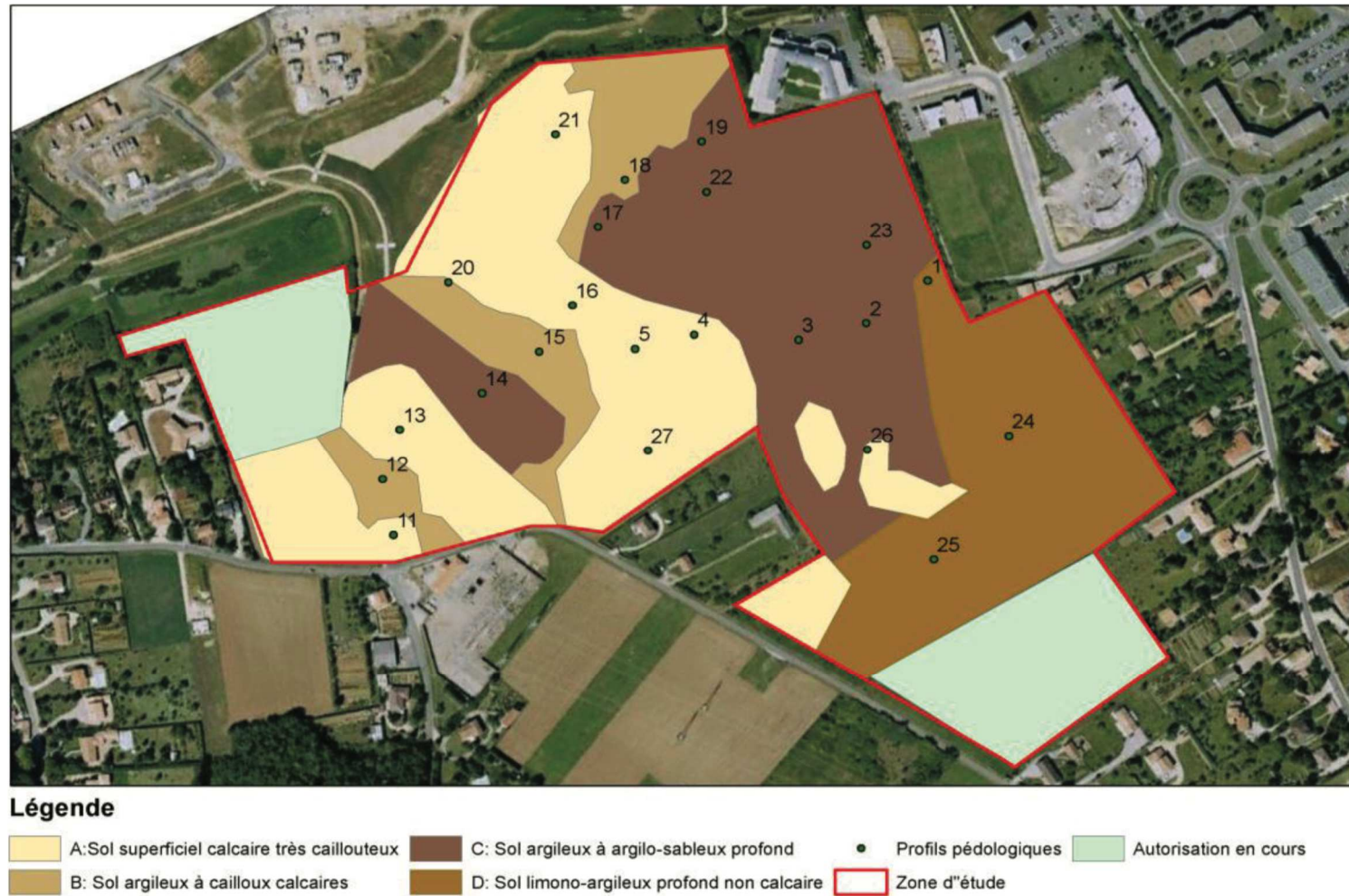
nom horizon	niveau supérieur horizon	niveau inférieur horizon	texture	humidité	Couleur	test HCl	Echantillon	Photo	Exploitation	Rendement théorique d'exploitation	DECAPAGE - 35 cm	DEBLAI -35 à -100 cm	commentaires
23 A	0	35	Limon sableux	frais	10YR 4/3	0	A	NON	Matériau organique non calcaire	0,35 m3 / m2	OUI	NON	 Code couleur Munsell
23 B	35	60	Limon sableux	frais	10YR 4/6	0	B	NON	Matériau peu organique non calcaire	0,25 m3 / m2	NON	NON	 Code couleur Munsell
23 C	60	100	Limon sableux	frais	10YR 4/6	0	NON	NON	Non exploitable pour reconstitution de sol fertile	NON	NON	NON	Horizon compact & 15% Eléments grossiers  Code couleur Munsell
23 D	100	100+	NR	frais	10YR 6/4	0	NON	NON	Non exploitable pour reconstitution de sol fertile	NON	NON	NON	Marne blanche, nombreux éléments grossiers  Code couleur Munsell

ANNEXE IV – DIFFERENTS EXEMPLES DE CARTOGRAPHIE DE SOL

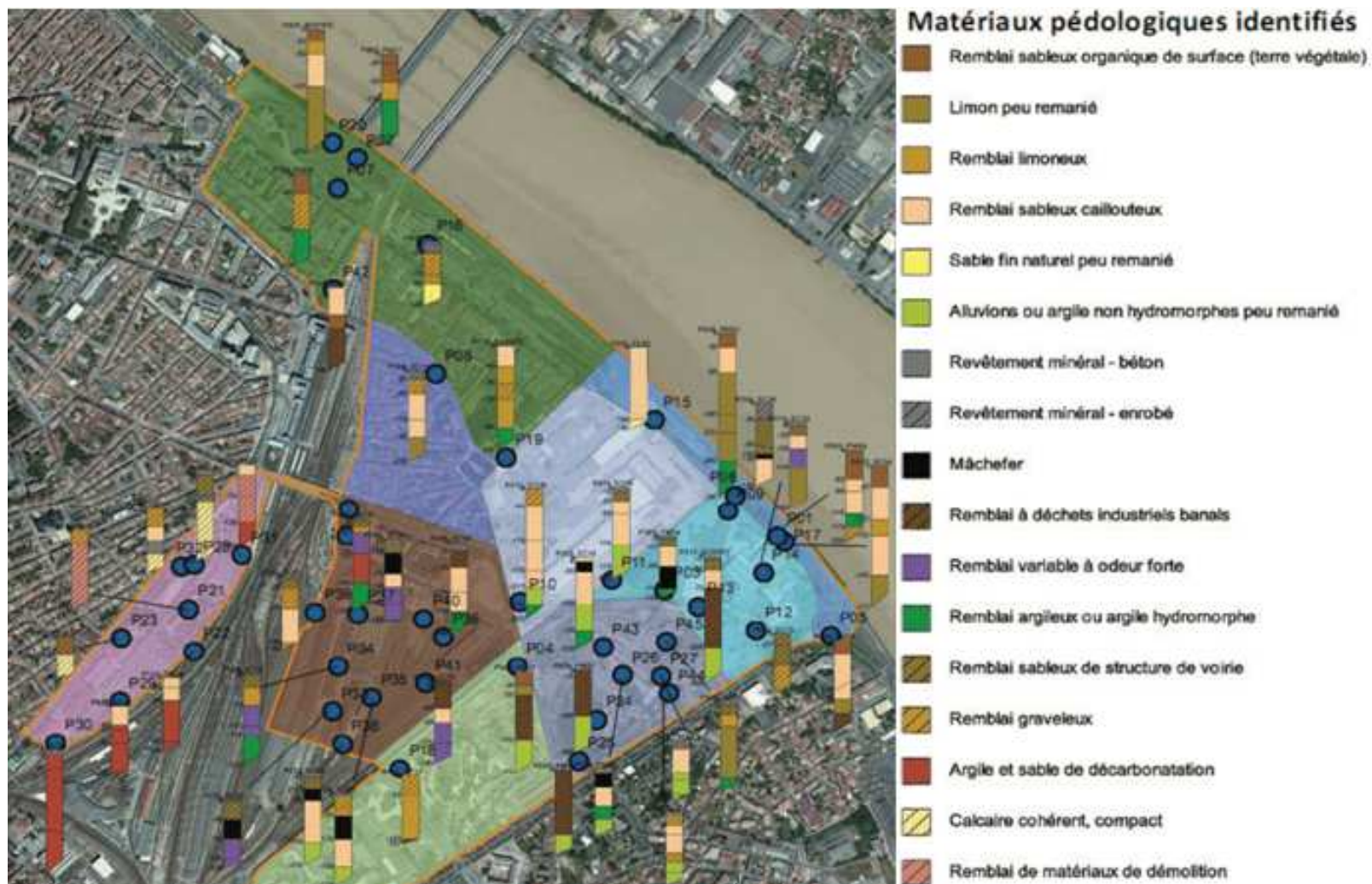
Projet d'aménagement de la ZAC Mermoz Nord Lyon. (Rullier, 2016)



Exemple de cartographie de zonages de sol selon les profils réalisés . (Rullier, 2016)



Exemple de cartographie avec les différents profils de sol identifiés sur un projet d'aménagement (Rullier, 2016).

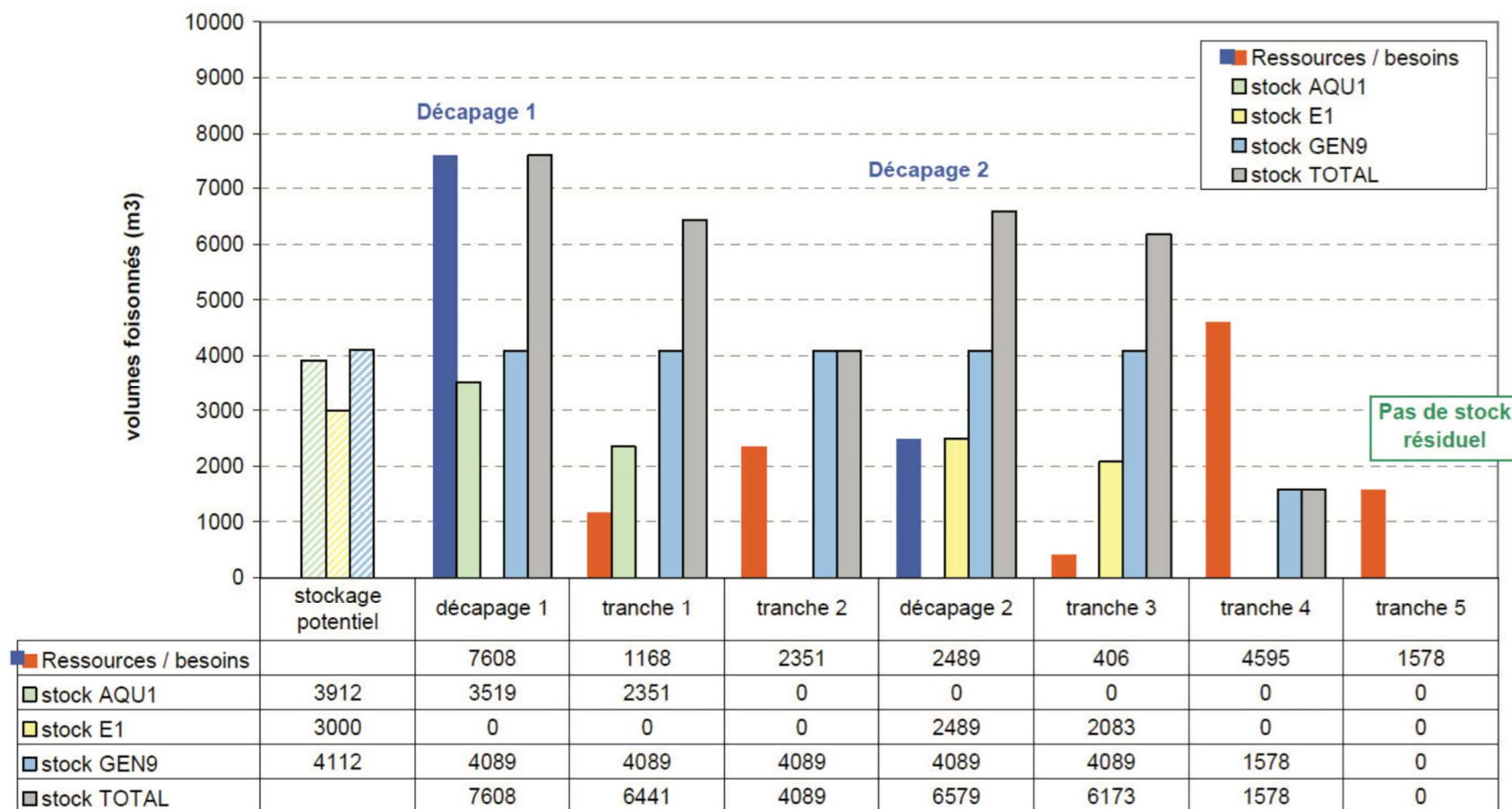


ANNEXE V – CARTOGRAPHIE DES DIFFERENTS ZONAGES AVEC L'INDICATION DES FERTILITÉS ASSOCIÉES (RULLIER, 2016)



ANNEXE VI – EXEMPLE DE BILAN DES QUANTITÉS DE MATÉRIAUX DISPONIBLES ET NÉCESSAIRES POUR UN PROJET D'AMÉNAGEMENT PAYSAGER (BOURGUIGNON, 2014)

Bilan matériaux par phases - Scénario A



ANNEXE VII – SITE DE LA ZAC DES ONGROIS À ECOUFLANT (VU D'ICI)



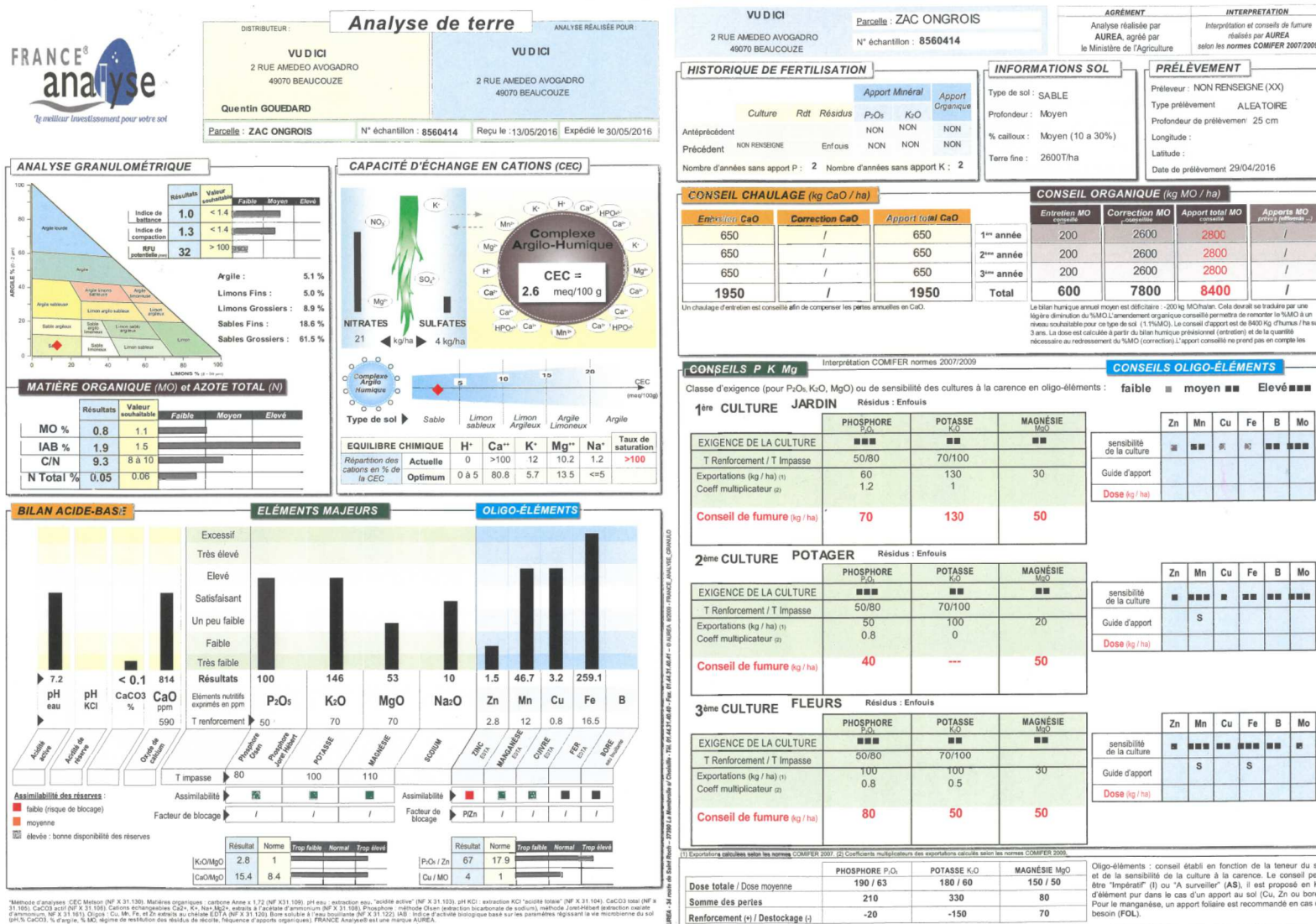
ANNEXE VIII – PLAN DE REPÉRAGE DE LA TRANCHE 1 DE LA ZAC DES ONGROIS (VU D'ICI)



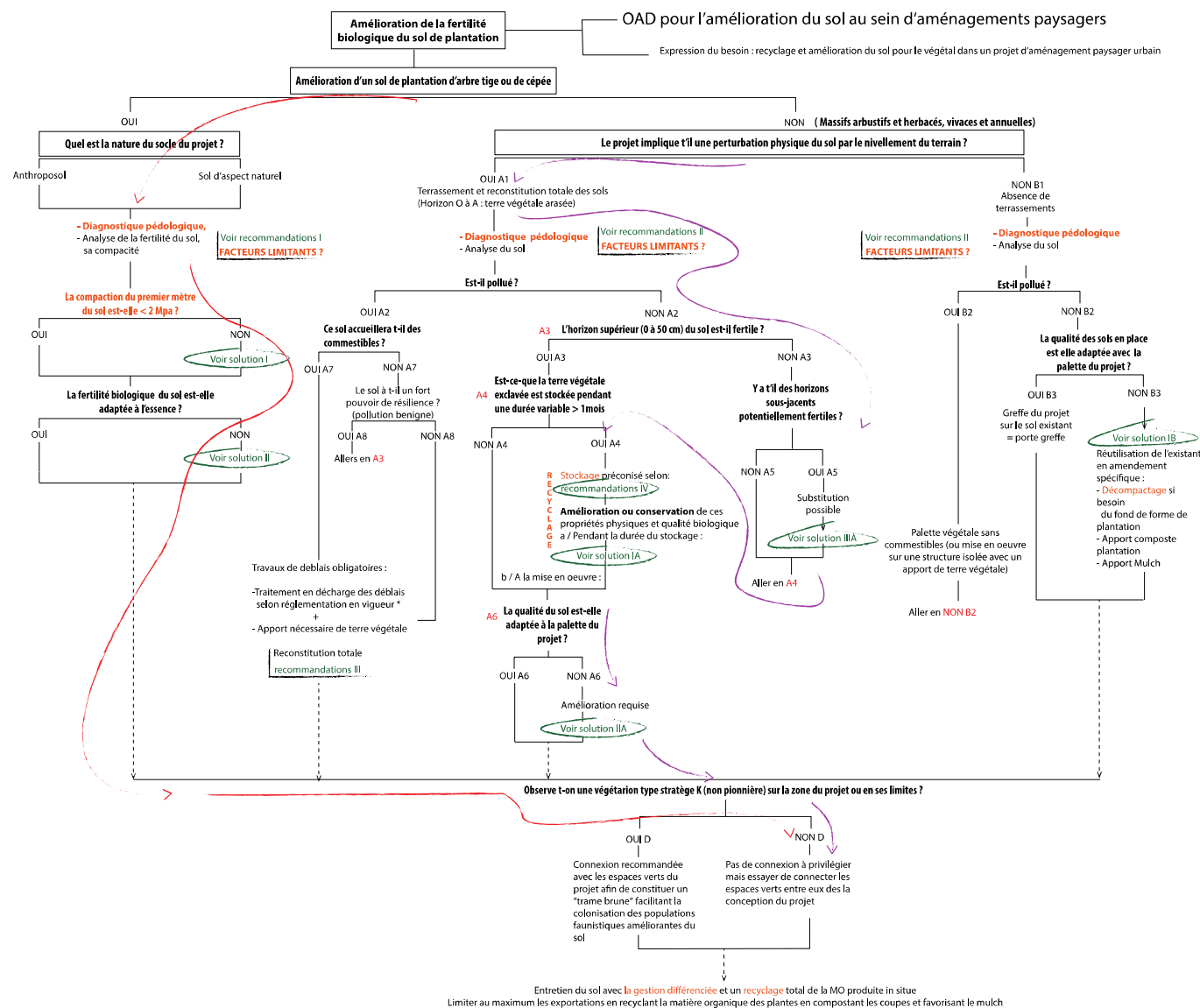
Alix Tételin – Elève ingénieur du paysage et de l'Horticulture – AgroCampus-Ouest Angers



ANNEXE X – RÉSULTAT ANALYSE DE TERRE ZAC DES ONGROIS



ANNEXE XI – OAD APPLIQUE A LA ZAC DES ONGROIS (TETELIN, 2016)



	Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Maitrise d'œuvre et Ingénierie Enseignant référent : David MONTEMBault	
Auteur(s) : Alix Tételin Date de naissance* : 28/07/1988		Organisme d'accueil : VU D'ICI Adresse : Rue Amadéo Avogadro 49 070 BEAUCOUZE
Nb pages : 46	Annexe(s) : 11	Maître de stage : Aurélien Adam
Année de soutenance : 2016		
Titre français : Valorisation du sol de plantation en milieu urbain pour des aménagements paysagers Titre anglais : Improvement of the soils of plantation in urban zones for landscaping		
Résumé (1600 caractères maximum) : Depuis le 19 ^e siècle, l'occupation des sols a profondément été modifiée par l'étalement urbain. Ces trente dernières années, les surfaces agricoles disparues sous l'asphalte sont équivalentes à celle de la Bretagne. Face à ce constat, la volonté de préserver les ressources en sols naturels et agricoles est devenue primordiale à toutes les échelles. Les aménagements paysagers urbains ne disposent que rarement de sol adapté au projet. Ils sont donc consommateur en terre, ressource qui, en plus de se raréfier, apporte un surcoût non négligeable au projet. Afin de limiter l'érosion de la ressource en sol, cette étude tente de faire un état des lieux et un constat sur les techniques actuelles pour recycler les sols inadaptés. Afin de permettre aux aménageurs la valorisation la plus adaptée du sol rencontré, un OAD a été mis en place reprenant les solutions les plus efficaces pour pérenniser les plantations. Enfin la prise en considération de la temporalité du projet a été proposée afin de cerner le champ d'action possible depuis la conception jusqu'à la gestion du projet paysager.		
Abstract (1600 caractères maximum) : Since 19 th century, the occupation of grounds was modified by the urban sprawl. During thirty years, the agricultural place disappeared under the asphalt are equivalent to that of the Brittany. Considering this, the will to protect the resources in natural and agricultural soils became essential in all the scales. Urban soils in landscaping are only rarely adapted to the project. They are consumer of ground, resource which, besides becoming scarce, bring a not insignificant additional cost to the project. To limit the erosion of the ground's resource, this study tries to make a current situation and a report on the techniques to recycle the unsuitable soils. To allow at builders the valuation the most adapted of the met soil, an OAD was set up resuming the most efficient solutions to perpetuate plantations. Finally the taking into consideration of the temporality of the project was proposed to identify the possible radius of action since the design until the management of the landscaped project.		
Mots-clés : Etalement urbain, aménagement paysager, Sol, valorisation, OAD, amélioration, plantation Key Words: Urban spreading, landscaping, urban soils, valuation, OAD, improvement, plantation		

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires