



**HAL**  
open science

# Valorisation du sol urbain en place pour plantations lors d'aménagements paysagers

Chloé Porcher

► **To cite this version:**

Chloé Porcher. Valorisation du sol urbain en place pour plantations lors d'aménagements paysagers. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04752472

**HAL Id: dumas-04752472**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04752472v1>**

Submitted on 24 Oct 2024

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers  Site de Rennes

<p>Année universitaire : 2023-2024 Spécialité : Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : Paysage : Opérationnalité et Projet (POP)</p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

## Valorisation du sol urbain en place pour plantations lors d'aménagements paysagers

Par : Chloé PORCHER



**Soutenu à Angers le 26 septembre 2024 à 9h**

**Devant le jury composé de :**

Président : DAVODEAU Hervé

Maître de stage : ADAM Aurélien

Enseignant référent : PLOTTU Béatrice

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Paternité-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

Tout d'abord, je tiens à remercier l'Agence Résonance Urbanisme et Paysage ainsi qu'Aurélien ADAM pour m'avoir accueillie au sein de leur équipe, m'avoir fait confiance et m'avoir fait évoluer tout au long de ce stage de fin d'étude. Je remercie également Isabelle LEROUX pour avoir assuré mon suivi durant ces six derniers mois.

Je remercie l'ensemble du corps enseignant et personnel de L'Institut Agro Rennes-Angers pour m'avoir ouvert au monde du paysage grâce à leurs enseignements et leur accompagnement durant ces 3 années de formation.

Merci à Béatrice PLOTTU, ma professeure référente, pour m'avoir suivie durant ce stage et orientée pour la rédaction de ce mémoire.

Je remercie Sophie PLANCHAT, Cheffe de Centre chez Teridéal, pour ses encouragements et son partage de contacts qui m'ont aidé à enrichir mes propos.

Je remercie Aurélien MONDON, Conducteur de travaux chez Teridéal pour son partage d'expérience sur son stage de fin d'étude.

Merci à Justine LE NET, Référente technique agro-urbanisme chez AUREA pour m'avoir apporter des éléments d'explication sur la conformité de la terre végétale et transmis des références sur lesquelles m'appuyer.

Merci à Chloé Lapierre et Florence Porcher pour la relecture du manuscrit.

Et enfin, je remercie ma famille et mes amis pour m'avoir soutenue tout au long de mon parcours étudiant, de m'avoir encouragée et de m'avoir menée là où j'en suis aujourd'hui.

## Liste des abréviations

BRF : Bois Raméal Fragmenté

CAH : Complexe Argilo Humique

CEC : Capacité d'Échanges Cationique

C/N : Rapport Carbone sur Azote

COV : Composé Organique Volatile

HCC : Humidité à la Capacité au Champ

HPF : Humidité au Point de Flétrissement

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

MOV : Matière Organique Vivante

MOF : Matière Organique Fraîche

PF : Point de Flétrissement

pH : potentiel Hydrogène

ZAN : Zéro Artificialisation Nette

## Liste des figures

Figure 1 : Les différents horizons du sol (Porcher, 2024)	2
Figure 2 : Diagramme des textures du GEPPA (GEPPA, 1963)	4
Figure 3 : Les différentes structures de sol (Gobat et al., 1998)	5
Figure 4 : Représentativité des proportions d'organismes vivants peuplant le sol (Berthelin, 2010)	7
Figure 5 : Composition des matières organiques du sol (Gaillard, 2001)	9
Figure 6 : Décomposition de la MOF (Duchaufour, 1984)	9
Figure 7 : Composition des couches du substrat reconstitué à granulométries différentes (Plante & Cité, 2013)	13
Figure 8 : Les andains, moyens de stockage de la terre durant les aménagements paysagers (Porcher, 2024)	24
Figure 9 : Le Grand Belle-Beille et ses trois grandes polarités (Alter Publique, ID-U, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2021)	27
Figure 10 : Entrée du Parc Jacques Tati et son aire de jeux (Alter Publique, ID-U, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2020)	28
Figure 11 : Espace boisé et traverse du Parc Jacques Tati (Alter Publique, ID-U, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2020)	28
Figure 12 : Etat existant du Secteur Jacques Tati et principe de recomposition (Alter Publique, ID-U, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2021)	29

<b>Figure 13</b> : Photographie du site de prélèvement des échantillons de sol Parc Jacques Tati (Porcher, 2024) .....	30
<b>Figure 14</b> : Photographie aérienne et localisation de la zone de prélèvement des échantillons de sol à analyser dans le Parc Jacques Tati (Alter Publique, ID-U, Résonance U&P, TPF, VIZEA, 2020) .....	30

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Ordres de grandeur de la réserve en eau pour les différentes textures du sol (Grosbellet et al., 2012) .....	6
<b>Tableau 2</b> : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008) .....	10
<b>Tableau 3</b> : Besoins en macro et micro-éléments pour diverses cultures annuelles (Coic et al., 1989) .....	10
<b>Tableau 4</b> : Valeurs seuil et critères demandés par la norme NF U44-551 pour la composition chimique et biologique de l'appellation "Terre végétale" (Laboratoire AUREA, 2009) .....	12
<b>Tableau 5</b> : Comparaison des avantages des différentes techniques présentées et leurs inconvénients notables (Porcher, 2024) .....	21
<b>Tableau 6</b> : Hauteur de l'andain et durée maximale de stockage pour des terres ressources issues de couches de surface et dont le taux de matière organique est supérieure à 1 % (Grosbellet et al., 2012) .....	24
<b>Tableau 7</b> : Résultat des analyses des échantillons provenant du Parc Jacques Tati (Labosol, 2024) .....	32

## Liste des annexes

<b>Annexe I</b> : Fiche méthodologique "Réaliser le prélèvement" et "Remplir la feuille de renseignement" (Labosol, 2012) .....	40
<b>Annexe II</b> : Fiche de renseignement pour l'analyse de sol (Labosol, 2023) .....	41

## Table des matières

Introduction .....	1
<b>1. Le sol vivant, support de la faune et de la flore .....</b>	<b>2</b>
1.1. Définition du sol .....	2
1.2. La fertilité physique .....	3
1.2.1. La texture .....	3
1.2.2. La structure .....	5
1.2.3. La porosité .....	6
1.2.4. La capacité de rétention d'eau .....	6
1.3. La fertilité biologique .....	7
1.3.1. Les organismes vivants du sol .....	7
1.3.2. La matière organique et le rapport C/N .....	8
1.4. La fertilité chimique .....	10
1.4.1. Les teneurs en nutriments et leurs interactions .....	10
1.4.2. La Capacité d'Échange Cationique (CEC) .....	11
1.4.3. Le Complexe Argilo Humique (CAH) .....	11
1.4.4. Le pH .....	11
1.5. Les défauts d'un sol urbain et les objectifs agronomiques pour la plantation de végétaux en milieu urbain .....	11
<b>2. Des méthodes d'amélioration des sols en place aux objectifs variés .....</b>	<b>13</b>
2.1. Des solutions d'amélioration de la physique du sol .....	13
2.1.1. Une augmentation de la porosité par apport de matériaux à granulométrie variable .....	13
2.1.2. L'amélioration de la structure du sol par les plantes .....	14
2.2. Des solutions d'amélioration de la chimie du sol .....	15
2.2.1. Les amendements organiques .....	15
2.2.2. Les amendements minéraux basiques .....	16
2.2.3. Le traitement de la pollution par la technique humaine ou végétale .	16
2.3. Des solutions d'amélioration de la biologie du sol .....	18
2.3.1. Les préparations microbiennes .....	18
2.3.2. Paillage vivant ou Lombricompost .....	19
2.4. Conclusion sur les différents apports présentés .....	20
<b>3. Aménagements paysagers et projet de produire un sol vivant à partir du sol en place à travers l'exemple du Parc Jacques Tati .....</b>	<b>22</b>
3.1. Le projet paysager, plusieurs étapes pour la mise en place d'un sol de plantation .....	22
3.1.1. Etat initial et diagnostic du sol .....	22
3.1.2. Terrassement et nivellement du terrain .....	22

3.1.3.	Stockage de la terre excavée .....	23
3.1.4.	Préparation de la structure des fosses de plantation .....	25
3.1.5.	Amélioration du sol en place et plantations .....	25
3.1.6.	Gestion après chantier jusqu'à pérennisation .....	26
<b>3.2.</b>	<b>Le Parc Jacques Tati, un petit parc urbain au cœur du projet de rénovation du Grand Belle-Beille .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.</b>	<b>L'analyse de sol du Parc Jacques Tati .....</b>	<b>30</b>
<b>Conclusion .....</b>		<b>35</b>
<b>Bibliographie .....</b>		<b>36</b>
<b>Sitographie .....</b>		<b>37</b>
<b>Entretiens téléphoniques .....</b>		<b>38</b>
<b>Annexes .....</b>		<b>39</b>

## Introduction

Chaque année en France près de 30 000 hectares d'espaces naturels, agricoles et forestiers sont consommés par l'urbanisation et l'artificialisation des sols causant des pertes de biodiversité. La population préférant les villes et l'augmentation du nombre des ménages font que les besoins en logements explosent et nécessitent un grignotage des zones périphériques pour satisfaire la demande. Afin de lutter contre ce phénomène, la Loi Climat et Résilience du 22 août 2021 a défini un objectif de Zéro Artificialisation Nette (ZAN) pour 2050. (Vie publique, 2023) Cela implique la renaturalisation d'un espace pour chaque espace artificialisé. Cette loi encourage ainsi à s'attaquer en priorité, lors d'aménagements urbains, aux espaces inutilisés déjà artificialisés tels que les bâtiments vacants qui représentaient près de 8% des logements en 2015 d'après l'INSEE (Vincent Vallès, 2018), les friches urbaines et les dents creuses pour limiter le grignotage de terres agricoles ou naturelles.

Également, face au dérèglement climatique, l'artificialisation des sols est à l'origine de nombreuses pressions environnementales. Tout d'abord, par l'utilisation de matériaux imperméables, les sols urbains perdent leur capacité à absorber l'eau par infiltration amplifiant les risques de ruissellement, d'inondation et d'érosion des sols. Le CO<sub>2</sub> n'est plus absorbé par le sol et participe à la hausse des températures créant des îlots de chaleur urbains. De plus, par l'activité humaine, les sols sont contaminés par des métaux lourds et autres polluants. Pour lutter contre ces phénomènes, les villes ont besoin de zones de biodiversité, de poumons verts permettant la création d'îlots de fraîcheur, l'absorption de CO<sub>2</sub> et des eaux de ruissellement.

Cependant, l'artificialisation des sols est aussi responsable de la dégradation de leur qualité, les rendant parfois inertes. Le Code de l'Environnement dans l'Article R541-8, définit les sols excavés inertes comme un "déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine." (Légifrance, 2020) . Ces terres inertes sans activités biologiques et biochimiques ne représentent pas un support viable à la biodiversité et à la végétalisation.

Face à ce type de sols, lors d'aménagements urbains il est nécessaire de créer un support viable et vivant. Durant les chantiers urbains, le plus commun est d'une part d'importer de la terre aussi appelée terre végétale aux qualités agronomiques voulues pour la prise du végétal et d'autre part de mettre en décharge les terres présentes de mauvaise qualité agronomique. Or, face à la Loi ZAN limitant la destruction de terres agricoles au profit de l'urbanisation et face à une diminution des quantités disponibles en terre végétale, se pose la problématique de la réutilisation des sols en place.

En effet, plutôt que d'importer des sols extérieurs et de jeter en décharge ceux existants menant à un coût très important d'allers-retours de camions, **comment valoriser, lors d'aménagements paysagers, les sols en place afin de créer un sol vivant support de biodiversité?**

Sous la forme de trois parties, il sera tout d'abord abordé ce qu'est le sol vivant et ses différentes propriétés jusqu'au défaut d'un sol urbain. Ensuite, en deuxième partie, seront présentées les différentes méthodes d'amélioration des sols en place en fonction du besoin recherché. Enfin, à travers l'étude du cas du Parc Jacques Tati à Angers, il sera en premier présenté les différentes étapes de la mise en place d'un sol de plantation dans un projet d'aménagement paysager puis la contextualisation du projet Jacques Tati et enfin les conclusions et propositions retenues suite à la réalisation d'une analyse de sol du Parc.

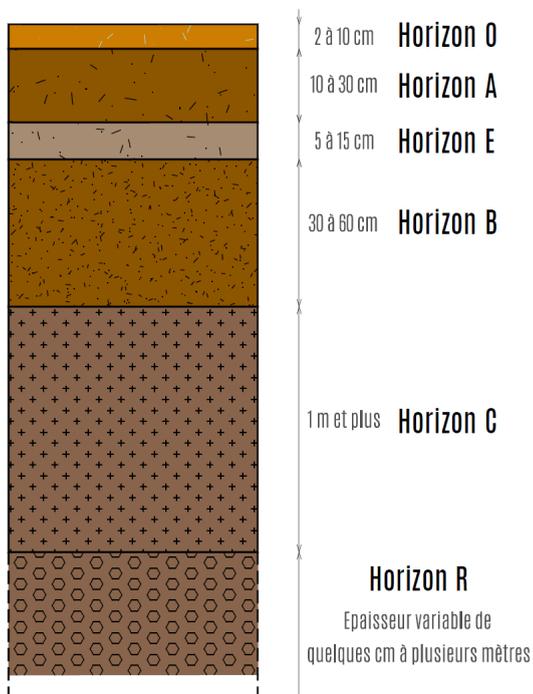
# Partie 1 : Le sol vivant, support de la faune et de la flore

Le sol souvent considéré comme un simple substrat joue en réalité un rôle primordial en tant que support de la vie terrestre. Dans cette partie, il sera d'abord défini ce qu'est le sol puis il sera développé les différentes fertilités qui font du sol un écosystème vivant et dynamique et enfin seront abordés les impacts du système de vie urbain sur le sol.

## 1.1 Définition du sol

Le sol est le support d'une activité biologique importante que ce soit la faune, la flore ou les micro-organismes le composant. Il est également support des activités humaines permettant aux hommes de produire près de 95% de leurs aliments. Il permet aussi de réguler le cycle de l'eau, la séquestration du carbone (près de 20 mégatonnes en 25 ans) et agit comme filtre pour les polluants (AFES, 2023). Cela fait de lui une ressource importante à forts enjeux et difficile à créer.

En effet, le sol est la couche superficielle de la croûte terrestre issue d'un processus de formation nécessitant plusieurs millénaires (10 000 ans en moyenne sous le climat européen pour la formation d'un sol) appelé la pédogénèse (Borgarelli et al., 2022). Il s'étend de la surface de la Terre à une profondeur déterminée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée ou peu marquée par la pédogénèse. Cette épaisseur de sol de quelques centimètres à plusieurs mètres peut varier et est organisée en horizons. Ces horizons correspondent à une organisation des constituants organiques et minéraux issue de la pédogénèse et de l'altération physique ou chimique de la roche mère. C'est par lixiviation que les éléments chimiques solubles dans l'eau vont être entraînés en profondeur pour former les différents horizons (voir Figure 1). (AFES, 2023)



L'Horizon O (Organique) est composé de matière organique en décomposition (feuilles, etc.) appelée litière, il est surtout présent dans les forêts.

L'Horizon A est un mélange de matière organique et de minéraux, il est généralement foncé en raison de la Matière Organique (MO) en décomposition. C'est la couche la plus fertile du sol.

L'Horizon E (Eluviation) est caractérisé par une perte de minéraux et de MO due au processus de lessivage où l'eau entraîne les particules fines en profondeur. Il est de couleur claire.

L'Horizon B (d'accumulation) retient les éléments lessivés. Il est plus dense et moins riche que le A.

L'Horizon C (Matériau parental) est constitué des matériaux d'origine du sol tels que des fragments de roche.

L'horizon R (Roche mère) est la couche solide non altérée du sol sur laquelle se forment les horizons supérieurs.

Figure 1 - Les différents horizons du sol (Porcher, 2024)

Le sol est un système dynamique et hétérogène composé principalement :

- de minéraux insolubles
- de sels minéraux
- de matière organique
- de gaz
- d'une solution aqueuse

Les minéraux insolubles sont produits par la fragmentation et l'altération de la roche mère. Ils sont classés par taille : en argiles (les particules les plus fines), en limons et sables (les particules les plus grosses).

Les sels minéraux se retrouvent sous deux formes. Soit, ils sont solubles et ce sont des composés inorganiques dissous dans l'eau du sol, constitués d'ions provenant de la dissolution des minéraux présents dans le sol (exemples: Calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , Magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ , Nitrates  $\text{NO}^{3-}$ ). Ces ions sont présents dans la solution aqueuse du sol et sont nécessaires à la nutrition des plantes et autres processus biologiques. Soit, ils sont liés au Complexe Argilo-Humique (CAH), principalement les cations formant également une réserve nutritive.

La matière organique se sépare en deux catégories : la matière organique vivante et la matière organique morte. La matière organique vivante comprend les racines des plantes, les microorganismes (bactéries, champignons, etc.) et la faune du sol. La matière organique morte provient de la décomposition de plantes, animaux et microorganismes morts, qui enrichit le sol en nutriments. Ces éléments nutritifs sont composés majoritairement de carbone et d'azote, auxquels sont ajoutés des atomes d'hydrogène, d'oxygène, de soufre, et d'autres composés (métaux, halogènes, etc.).

Les gaz correspondent principalement à l'air dans les pores du sol qui est riche en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) en raison de la respiration des racines et des micro-organismes et relativement pauvre en dioxygène ( $\text{O}_2$ ) par rapport à l'air atmosphérique. Cet air est nécessaire à la respiration des organismes dans le sol.

La solution aqueuse correspond à l'eau présente dans les pores du sol transportant les différents éléments dissous, dont les éléments nutritifs que les racines puisent pour répondre aux besoins de la plante par exemple.

A partir de l'ensemble de ces éléments se crée la fertilité du sol. La fertilité c'est l'aptitude d'un sol à soutenir la croissance du végétal, son développement et sa reproduction de manière optimale. On peut distinguer trois types de fertilité : la fertilité physique, la fertilité chimique et la fertilité biologique (Grosbellet et al., 2012).

## 1.2 La fertilité physique du sol

La fertilité physique correspond à la capacité à créer et/ou maintenir un état physique du sol adapté à la végétation mise en place : stockage et infiltration de l'eau, aération et croissance racinaire. Elle concerne principalement la structure, la texture, la porosité et l'aération et la capacité de rétention d'eau du sol.

### 1.2.1. La texture

La texture du sol est la répartition granulométrique des particules. Il y a deux grands ensembles de constituants : la terre fine correspondant aux particules de diamètre inférieur à 2 millimètres et les éléments grossiers de diamètre supérieur à 2 millimètres.

Parmi la terre fine se distinguent trois fractions (GIS Sol, 2022):

- les sables, les grosses particules de taille comprise entre 50 micromètres et 2 millimètres ;
- les limons, les particules de taille moyenne comprise entre 2 et 50 micromètres ;
- les argiles, les plus petites particules inférieures à 2 micromètres.

La texture du sol n'est pas homogène et varie en fonction de la profondeur du prélèvement.

Une fois la texture déterminée, le sol est classé selon les proportions des particules qui le composent telles que le sol argileux (sol comportant une majorité d'argiles) ou limono-sableux (sol composé majoritairement de limons et sables). L'utilisation d'un triangle de texture (voir Figure 2) permet de faciliter l'interprétation de l'analyse granulométrique et de classer le sol.

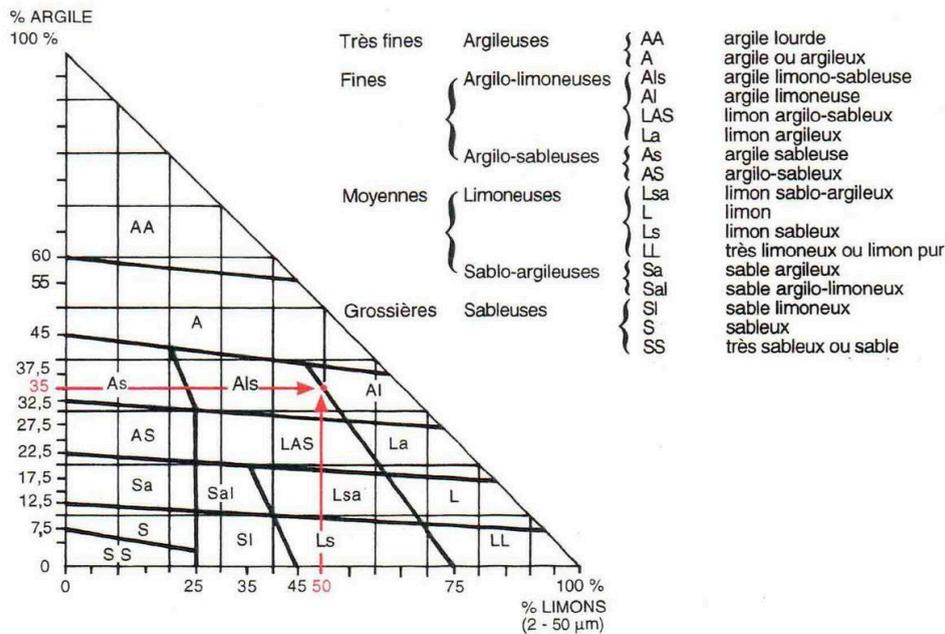


Figure 2 : Diagramme des textures du GEPPA (GEPPA, 1963)

La texture impacte la gestion de l'eau et la structure du sol.

En effet, les argiles sont très fertiles et bénéfiques à la rétention d'eau mais rendent le sol facilement compact et dense limitant l'aération et le drainage. Les sables, eux, conservent peu l'eau mais sont très drainants. Ils sont très peu fertiles.

Les sols limoneux, quant à eux, ont une bonne rétention d'eau supérieure à celle du sable même si inférieure à celle des argiles, de même qu'une bonne fertilité, une bonne aération et un bon drainage. Les limons sont facilement compactés mais peuvent également subir l'érosion car ce sont des particules fines. (Bourgeois et al.)

De ce fait, la flore est facilement impactée par le type de sol favorisant ou limitant le développement des racines, ainsi certaines catégories ont su s'adapter à des sols sableux donc très drainants, pauvres et plus secs comme les plantes xérophytes tel que le *Sedum* quand d'autres plantes préfèrent des sols argileux retenant l'eau et compacts comme le Saule pleureur (*Salix babylonica*).

Certains sols sont même hydromorphes, ils montrent des marques physiques de saturation régulière en eau, formant des milieux humides colonisés par des plantes hygrophiles comme le Jonc diffus (*Juncus effusus*).

### 1.2.2. La structure

La structure est définie par l'agencement des particules solides entre elles (argiles, limons, sables, matières organiques) pour former des agrégats. Cet agencement du sol détermine la place, la forme des pores et le volume total qu'ils occupent à l'intérieur du sol. De ce fait, une bonne structure du sol permet une aération adéquate, une bonne infiltration de l'eau et favorise le développement des racines. Il existe plusieurs types de structures, souvent regroupées en plusieurs grandes familles observables sur la Figure 3 (Baize, 2010) :

- les sols à structure pédique (polyédrique, grumeleuse) organisés en agrégats poreux permettant une bonne circulation de l'eau et de l'air entre les particules, un bon développement des racines ;
- les sols à structure particulaire dans lequel les particules sont dissociées, manquent de cohésion, ce qui est souvent le cas pour les sols très sableux et caillouteux ;
- les sols à structure lamellaire dont les éléments sont disposés parallèlement et horizontalement comme dans le cas des croûtes de battance ;
- les sols à structure prismatique dont les agrégats du sol forment des colonnes verticales appelés prismes à bords anguleux ou arrondis associés la plupart du temps à des sols argileux ou soumis à des cycles de mouillage et séchage réguliers ;
- les sols à structure massive correspondant à une forte cohésion des particules que seul un choc ou brisure artificiels permettent de fragmenter, c'est le cas des sols dis croûtes, cuirasses qui sont cimentés par des oxydes de fer, du calcaire ou de la silice ;
- les sols à structure fibreuse, feuilletée ou coprogène sont des sols comprenant une grande quantité de fibres végétales, de débris de feuilles ou déjections, de matières organiques plus ou moins décomposées.

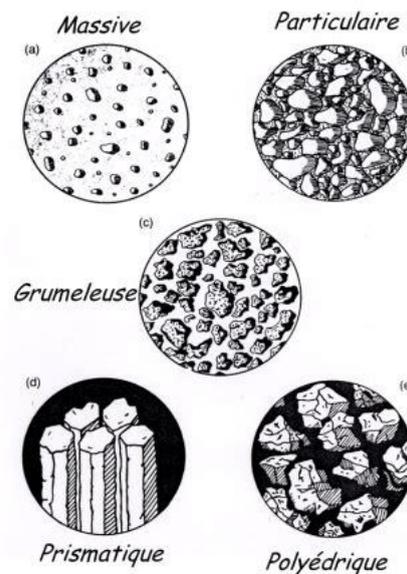


Figure 3 : Les différentes structures de sol (Gobat et al., 1998)

### 1.2.3. La porosité

Issue de la structure et de la texture, la porosité est l'ensemble des espaces entre les particules solides du sol. Les pores peuvent être de tailles et de formes différentes et être plus ou moins connectés entre eux.

Selon leur taille et leurs connexions, ils sont utiles pour permettre la circulation de l'air et de l'eau comme les macropores et la rétention d'eau pour les micropores.

Les macropores sont les plus grands pores de plus de 0,075 mm de diamètre, ils facilitent le drainage et permettent une bonne aération du sol. Ces macropores sont souvent issus de l'activité biologique (tunnels de vers de terre, racines, etc.) ou des fissures du sol.

Les mésopores sont de taille intermédiaire, entre 0,030 et 0,075 mm de diamètre, c'est ce que l'on appelle des pores de "stockage" : ils jouent un rôle dans la rétention de l'eau tout en permettant une certaine circulation de l'air.

Les micropores entre 0,005 et 0,030 mm de diamètre sont les pores les plus petits. Ils retiennent l'eau de la gravité et la rendent disponible aux plantes. Ils sont cependant moins efficaces pour la circulation de l'air. (Brewer, 1964)

### 1.2.4. La capacité de rétention de l'eau

L'Humidité à la Capacité au Champ (HCC) est la quantité d'eau maximum qu'un sol ressuyé (sol ayant perdu son excès d'humidité causé par un apport d'eau et étant prêt à être travaillé sans risque de compaction) est capable de stocker et de restituer en partie aux plantes jusqu'au Point de Flétrissement (PF). L'Humidité au Point de Flétrissement (HPF) correspond au taux d'humidité d'un sol à partir duquel la plante ne peut plus prélever d'eau. L'eau est donc retenue par le sol et ne peut être absorbée malgré la force de succion des racines. Autrement dit, le point de flétrissement marque la limite entre la quantité d'eau disponible pour la plante (réserve utile RU) et l'eau retenue dans le sol qui n'est pas disponible.

Au-delà du point de flétrissement, la plante ne peut plus absorber l'eau du sol, ce qui implique le flétrissement et la mort de la plante sur le long terme.

La réserve utile correspond à la différence entre la teneur en eau à la capacité au champ et la teneur en eau au point de flétrissement. (Grosbellet et al., 2012)

Le Tableau 1, ci-dessous, montre un ordre de grandeur de la réserve en eau d'un sol en fonction de sa texture. Ce tableau ne prend pas en compte l'ensemble des facteurs limitant que peut rencontrer un sol.

**Tableau 1 - Ordres de grandeur de la réserve en eau pour les différentes textures du sol (Grosbellet et al., 2012)**

Texture	HCC (% massique)	HPF (% massique)	RU mm/ dm de sol*
Sols sableux	8 à 12 %	3 à 5 %	7 à 12
Sols limoneux	20 à 25 %	10 %	15 à 20
Sols limono-argileux	24 à 27 %	11 à 13 %	17 à 30
Sols argileux	32 à 37 %	20 à 25 %	17 à 25

\*Prendre en compte la profondeur d'enracinement

### 1.3 La fertilité biologique du sol

La fertilité biologique est la capacité du sol à soutenir le développement et la croissance végétale sous l'influence des êtres vivants, qui peuvent être plus ou moins utiles ou nuisibles. Ils ont un impact sur l'état physique du sol et sur les quantités de nutriments disponibles pour les plantes. La fertilité biologique dépend de la diversité et de l'abondance des organismes vivants dans le sol (bactéries, champignons, vers de terre, insectes, racines, etc.) et est caractérisée par les propriétés liées à l'activité biologique, à la teneur en matière organique, au rapport carbone azote (C/N) et à la vitesse de dégradation et de transformation de la matière organique.

#### 1.3.1. Les organismes vivants du sol

Aujourd'hui, 26% des espèces vivantes connues vivent dans le sol sans compter les êtres vivants qui vivent en partie au-dessus comme les végétaux. Ces espèces correspondent aux bactéries, champignons et à une faune appelée pédofaune. Ainsi dans 1 g de sol sain, il peut être mesuré jusqu'à 1 milliard de bactéries, 1 à 3 mètres d'hyphes de champignons et autres organismes tels que des nématodes, arthropodes (insectes), protozoaires, etc. (UNIFA) En zone tempérée, la faune du sol représente jusqu'à 260 millions d'individus par m<sup>2</sup> et 1,5 tonne par hectare. L'ADEME propose dans la Figure 4 une représentation de la répartition proportionnelle des organismes présents dans le sol, sachant qu'une partie de ces êtres vivants reste encore inconnue. (Berthelin et al., 2010)

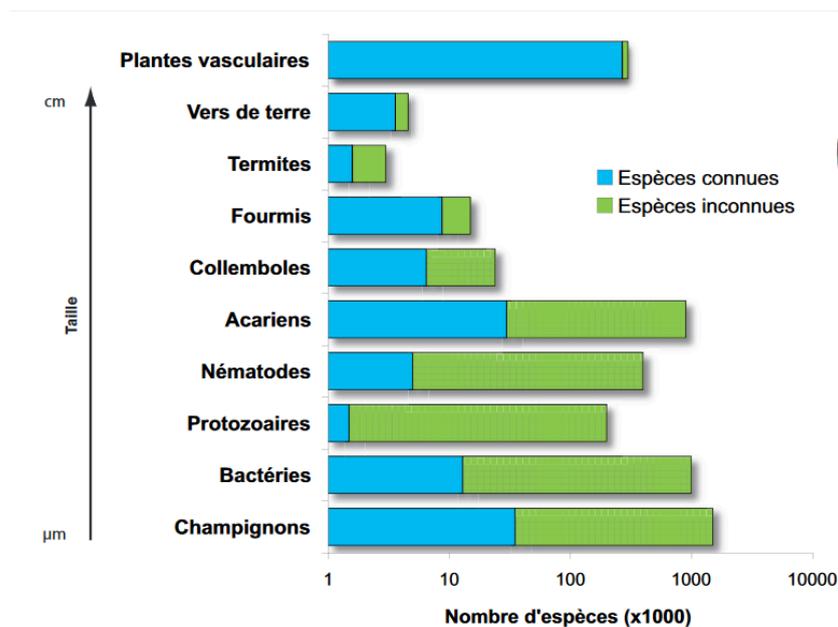


Figure 4 : Représentativité des proportions d'organismes vivants peuplant le sol (Berthelin, 2010)

Ces êtres vivants sont visibles ou non à l'œil nu et sont répartis en plusieurs catégories :

- la mégafaune : ce sont les organismes de taille supérieure à 8 cm comprenant les petits vertébrés comme les taupes, rongeurs, serpents ou amphibiens ;
- la macrofaune : de 0,4 à 8 cm, cette catégorie correspond aux arthropodes (termites, fourmis, etc.), mollusques, larves ou vers de terres ;
- la mésofaune : entre 0,04 mm et 0,4 cm, ces organismes sont visibles à la loupe comme les acariens ou collemboles ;

- la microfaune et microorganismes: inférieurs à 0,4 mm et seulement visibles au microscope (nématodes, bactéries, champignons, protozoaires, algues, etc.).

Chaque individu ne vit pas forcément dans la même strate du sol. En effet, certains seront principalement à la surface du sol (collembes, cloportes) pour décomposer la matière organique en surface quand d'autres restent plus en profondeur.

Les organismes peuvent être également classés en fonction de leur rôle dans le sol et non par leur taille. De fait, la biodiversité du sol joue des rôles fondamentaux pour le maintien des écosystèmes. Les organismes peuvent donc être différenciés en trois catégories (Berthelin, 2010):

- les "ingénieurs chimistes" qui assurent la transformation de la matière organique : les microorganismes des sols (bactéries, champignons) sont responsables des différentes étapes de transformation et de l'enfouissement de la matière organique dans les différents horizons et de la formation d'humus en rendant les nutriments facilement assimilables, ils servent également à la dégradation des polluants organiques comme les hydrocarbures et pesticides ;
- les "régulateurs" comme les nématodes, collembes ou acariens qui peuvent avoir un rôle de stimulation en ingérant des bactéries ce qui les active lors de leur passage dans le tube digestif, améliorant la décomposition de la matière organique. Ils peuvent également jouer un rôle de prédation permettant de limiter la prolifération de certains champignons ou bactéries pathogènes ;
- les "ingénieurs physiques" qui maintiennent la structure des sols : ces organismes (vers de terre, termites, fourmis) créent des habitats pour les autres êtres vivants en créant des galeries, renouvelant la structure du sol et le décompactant ce qui permet ainsi la circulation de l'eau et de la matière organique. Par exemple, les vers de terre forment des agrégats et permettent le transport et la redistribution de la matière organique à travers les horizons minéraux du sol.

Les organismes du sol jouent donc un rôle important dans la fertilité du sol mais également sur la protection des cultures présentes, la régulation du cycle de l'eau, la lutte contre l'érosion par le travail du sol et la décontamination des eaux et des sols.

### 1.3.2. La matière organique et le rapport C/N

La matière organique est répartie en trois groupes (voir Figure 5):

- la Matière Organique Vivante (MOV) correspondant à la faune, la flore et les microorganismes présents dans le sol ;
- la Matière Organique Stabilisée (MOS) appelée humus issus de la transformation de la MOV ;
- les débris d'origine animale, végétale, fongique ou microbienne appelé Matière Organique Fraîche (MOF) et facilement décomposable, elle est composée de substances hydrocarbonées comme les sucres, la cellulose, l'amidon ; de matière azotée sous forme protéique et de sels minéraux.

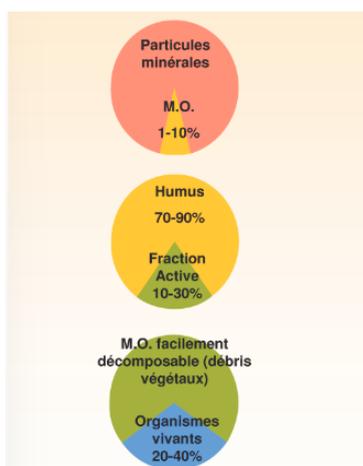


Figure 5 - Composition des matières organiques du sol (Gaillard, 2001)

La MOF va subir plusieurs transformations : la minéralisation primaire et la minéralisation secondaire. Ces processus transforment les substances organiques complexes en éléments facilement utilisables comme le montre la Figure 6.

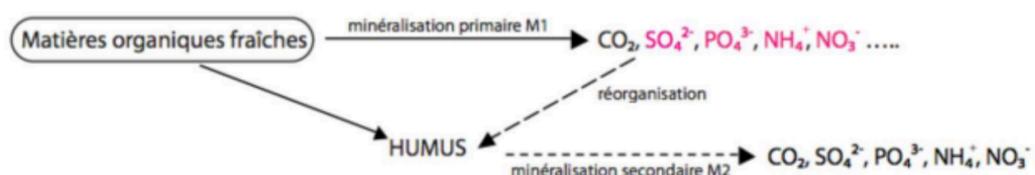


Figure 6 - Décomposition de la MOF (Duchaufour, 1984)

La minéralisation primaire est rapide. Elle commence par la décomposition de la matière organique par des micro-organismes comme les bactéries et champignons en éléments plus simples tel que l'eau, le  $\text{CO}_2$ , les nitrates  $\text{NO}_3^-$ . Ces éléments sont directement disponibles aux racines des plantes. Il reste de cette décomposition des éléments intermédiaires (acides organiques, acides aminés, etc.) plus stables regroupés en humus.

La minéralisation secondaire est une transformation très lente en comparaison avec la minéralisation primaire. Elle correspond à la dégradation des composés intermédiaires stables (humus) en nutriments stables et disponibles comme l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ . (Boyer et al., 2011)

Le rapport C/N quant à lui, est un indicateur de l'activité biologique des sols, de la qualité de la matière organique et de l'efficacité des processus de décomposition dans le sol (voir Tableau 2). En effet, pour dégrader la matière organique, les microorganismes ont besoin d'azote (N) pour leur développement. Ainsi quand il y a trop peu d'azote, le rapport C/N est fort ( $> 12$ ) et cela veut dire que les microorganismes puisent dans les réserves du sol limitant la disponibilité de l'azote pour les plantes, il y a une carence et la décomposition est ralentie. Inversement, quand le rapport C/N est faible ( $< 9$ ), il y a trop d'azote libéré et il sera en excès, la décomposition sera trop rapide et un excès de nutriments sera disponible provoquant de la perte. Ainsi un rapport C/N équilibré permet une décomposition efficace et un bon cycle des nutriments. (Boyer et al., 2011)

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

6	8	9	10	11	12	14	
Très faible	Faible		Normal		Légèrement élevé	Élevé	Très élevé
Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique	

## 1.4 La fertilité chimique du sol

Elle correspond à la capacité du sol à fournir les nutriments minéraux nécessaires aux plantes sous forme utilisables et dans des quantités suffisantes pour soutenir leur croissance et leur développement. Elle est caractérisée par les propriétés chimiques des sols liées au pH, à la Capacité d'Échange Cationique (CEC) et au Complexe Argilo-Humique (CAH), à la salinité, aux interactions entre les nutriments et aux teneurs en éléments minéraux.

### 1.4.1. Les teneurs en nutriments et leurs interactions

Tout d'abord les nutriments doivent être présents sous des formes que les plantes peuvent absorber tels que l'azote qui se doit d'être disponible en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ou ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).

Les interactions entre les nutriments sont à prendre en compte car elles peuvent affecter la disponibilité des éléments. Par exemple, un excès de calcium peut inhiber l'absorption de magnésium car ces deux éléments sont absorbés par les racines grâce à des mécanismes similaires et entrent alors en compétition, il en est de même avec un excès de phosphore pour le zinc.

La salinité a aussi des effets sur les nutriments. En effet, une concentration élevée de sels solubles dans le sol peut affecter la disponibilité des nutriments et inhiber l'absorption d'eau par les racines.

Les teneurs en oligoéléments (fer, zinc, cuivre, etc.) sont importantes pour une bonne fertilité chimique du sol. Ces oligo-éléments sont nécessaires en petite quantité mais essentiels pour les fonctions physiologiques et la croissance des plantes et qui en cas d'absence ou de carence peuvent entraîner des problèmes de croissance ou de développement pour les plantes.

Par exemple, le fer est essentiel pour la synthèse de la chlorophylle et la respiration cellulaire alors que le zinc est impliqué dans la synthèse des protéines, la croissance des racines et la régulation des processus enzymatiques. Leur manque impactera directement les propriétés cellulaires des plantes.

Le Tableau 3 donne un exemple des besoins en macro-éléments et oligo-éléments pour diverses cultures annuelles.

**Tableau 3 - Besoins en macro et microéléments pour diverses cultures annuelles (Coic et al., 1989)**

<b>Macro-éléments</b>	Azote	N	100 - 300 kg/ha
	Potassium	K	100 - 400 kg/ha
	Calcium	Ca	40 - 200 kg/ha
	Phosphore	P	20 - 50 kg/ha
	Soufre	S	10 - 40 kg/ha
	Magnésium	Mg	10 - 30 kg/ha
<b>Micro-éléments</b>	Fer	Fe	1000 - 2000 g/ha
	Manganèse	Mn	150 - 700 g/ha
	Zinc	Zn	100 - 300 g/ha
	Bore	B	80 - 200 g/ha
	Cuivre	Cu	25 - 100 g/ha
	Molybdène	Mo	5 - 20 g/ha

#### 1.4.2. La Capacité d'Échange Cationique (CEC)

La CEC est la quantité totale de charges négatives situées à la surface des particules du sol dans le Complexe Argilo Humique (principalement les argiles et la matière organique), qui fixe les cations (charges positives) échangés avec ceux de la solution du sol. Il y a deux types de CEC : la CEC effective au pH en place et la CEC au pH 7 ; car il y a les charges négatives permanentes et indépendantes du pH et celles dépendantes du pH (matière organique, argiles vraies, oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium). (Bourrié et al. 2022)

La CEC est un indicateur clef de la fertilité chimique du sol car elle détermine la capacité du sol à retenir des nutriments essentiels pour les plantes dans le Complexe Argilo Humique comme le calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , le magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ . La CEC permet aussi de maintenir un pH stable. Un sol avec une CEC élevée peut retenir et échanger plus de cations qu'un sol avec CEC faible.

#### 1.4.3. Le Complexe Argilo Humique (CAH)

Le CAH est une association formée entre l'argile et l'humus grâce à l'action stabilisatrice de cations tels que le calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , le magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  ou le potassium  $\text{K}^+$ , etc. L'humus est la fraction stable de la matière organique du sol vouée à être minéralisée lors de sa décomposition. L'humus permet une structuration du sol. Les particules d'humus et d'argiles toutes chargées négativement retiennent les cations de la solution du sol et les rendent disponibles aux plantes. Le CAH est donc un important réservoir d'éléments nutritifs pour la végétation. (Masson, 2012)

#### 1.4.4. Le pH

Le pH quantifie la concentration en ions hydrogènes  $\text{H}^+$  dans une solution donnée. Il varie de 0 à 14, l'état neutre étant à 7, l'état acide de 0 à 7 et l'état basique de 7 à 14. Plus la concentration en  $\text{H}^+$  est importante plus la solution sera acide. Les sols eux, sont acides, neutres ou basiques, cela dépend en premier lieu des caractéristiques de la roche mère (la végétation peut également impacter le pH des sols). Par exemple, un sol calcaire sera plus basique alors qu'un sol granitique sera à tendance acide.

Le pH affecte la solubilité des nutriments et leurs disponibilités. En effet, un sol basique limite la disponibilité du fer ou du zinc quand un sol acide limite la disponibilité en calcium ou magnésium. Le pH affecte également les micro-organismes et le type de végétation qui peuvent s'y adapter. Un sol neutre est généralement optimal pour la plupart des plantes.

### 1.5 Les défauts d'un sol urbain et les objectifs agronomiques pour la plantation de végétaux en milieu urbain

Les sols urbains sont des sols transformés tout au long du développement de l'homme devant répondre aux besoins qui changent. Ils sont le résultat de l'accumulation de plusieurs matériaux terreux, d'éléments grossiers et de matériaux remués suites aux nombreux travaux et constructions qu'ils ont dû soutenir.

Aujourd'hui les sols urbains sont des sols peu vivants et peu fertiles. Ils ne sont pas favorables au développement des végétaux avec des déficits majeurs en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) et un pH souvent basique entre 7 et 8 et parfois 9. Les sols sont très compacts, peu perméables et avec une aération et une infiltration d'eau faibles. Les revêtements imperméables provoquent la sécheresse ou l'asphyxie du sol sur lequel ils sont posés limitant l'enracinement des végétaux et le développement de la faune. Les effets d'îlots de chaleur urbains renforcent l'effet de sécheresse et réchauffent les sols limitant la survie des organismes le composant.

Les sols sont également impactés par les remblais et les terres apportées de mauvaise qualité. Ils sont impactés par la pollution atmosphérique liée aux industries et transports (hydrocarbures et métaux lourds), par certaines pratiques d'amendement, d'utilisation de produits phytosanitaires et par l'utilisation d'eaux contaminées. (Leroy, 2019)

La végétation est limitée à des tailles de fosses végétales souvent trop faibles pour un développement optimal. Ainsi dans le Fascicule 35, document de référence pour les entreprises du paysage, l'ouverture des fosses minimales sont les suivantes :

- « en sol favorable, il est recommandé de réaliser les fosses de plantation à partir des matériaux des sols en place et de les travailler sur environ 1 à 1,2 m de profondeur (pour les arbres), 50 à 70 cm (pour les arbustes) et 2 à 4 m<sup>2</sup> de surface,
- en sol défavorable, il est recommandé de réaliser une fosse de plantation de 10 à 20 m<sup>3</sup>, sur une profondeur d'environ 1 à 1,2 m, reconstituée soit avec réutilisation partielle des matériaux de déblais (amendés pour améliorer leurs propriétés agronomiques), soit avec leur remplacement total par des matériaux fertiles extérieurs au site,
- dans le cas de mélange terre-pierres, il est recommandé d'augmenter le volume des fosses pour que la quantité de terre disponible reste suffisante pour les végétaux concernés» (Beaugé et al., 2021)

Aujourd'hui, lors d'aménagements paysagers, l'importation de terre végétale s'est démocratisée pour pallier les contraintes du sol en place peu en capacité d'accueillir des plantations. Cette terre végétale support des cultures urbaines doit respecter les critères de la Norme NF U44-551 qui caractérise si une terre est viable ou non. La terre végétale correspond à un mélange de terres amendé en produits organiques, de façon à ce que sa teneur finale en matière organique varie entre 3 et 15 % de la matière sèche. La norme NF U44-551 donne des critères d'innocuité (à savoir si elle est polluée et à quel point), des critères sur les traces en éléments métalliques, des critères sur les organismes pathogènes, sur la proportion de matière organique. (AFNOR, 2002) Le Tableau 4 résume les différents critères et valeurs seuils qu'une terre végétale se doit d'avoir selon la norme NF U44-551 :

**Tableau 4 - Valeurs seuil et critères demandés par la norme NF U44-551 pour la composition chimique et biologique de l'appellation "Terre végétale" (Laboratoire AUREA, 2009)**

PARAMÈTRES ANALYTIQUES	TYPE DE CRITÈRE	VALEUR SEUIL
Matière organique	A déclarer obligatoirement	Comprise entre 3 et 15 % MS
Fraction fine (< 2 mm)	A déclarer obligatoirement	> 50 % en masse
Cadmium total	1 à 2 fois/an selon production	2 mg/Kg sec
Chrome total	1 à 2 fois/an selon production	150 mg/Kg sec
Cuivre total	1 à 2 fois/an selon production	100 mg/Kg sec
Mercure total	1 à 2 fois/an selon production	1 mg/Kg sec
Nickel total	1 à 2 fois/an selon production	50 mg/Kg sec
Plomb total	1 à 2 fois/an selon production	100 mg/Kg sec
Zinc total	1 à 2 fois/an selon production	300 mg/Kg sec
Salmonelle	1 à 2 fois/an selon production	Absence dans 1g de MB
Listeria	1 à 2 fois/an selon production	Absence dans 1g de MB
Escherichia coli	valeurs informatives	10 <sup>3</sup> à 10 <sup>4</sup> /g MB
Entérocoques	valeurs informatives	10 <sup>4</sup> à 10 <sup>5</sup> /g MB
Clostridium perfringens	valeurs informatives	10 <sup>2</sup> à 10 <sup>3</sup> /g MB
Œufs d'helminthes viables	valeurs informatives	Absence dans 1g de MB

## Partie 2 : Des méthodes d'amélioration des sols en place aux objectifs variés

Le sol est un élément difficile à créer, mettant par processus naturel des milliers d'années à se former, il est donc important de le conserver en limitant la destruction de milieux viables qu'implique l'importation de terre végétale. Les enjeux sur le long terme pour le monde du paysage sont de pouvoir limiter au maximum l'importation de terres extérieures en utilisant et valorisant les sols en place. Pour valoriser ce sol parfois peu adapté à la plantation de végétaux, celui-ci doit être caractérisé par des analyses en laboratoire permettant de déterminer les manques et besoins d'apports associés. Dans cette partie seront présentées différentes méthodes, différents apports les plus naturels possibles à réaliser pour améliorer la physique du sol, sa chimie ou sa biologie. Les engrais chimiques non naturels et autres éléments polluants sont proscrits et ne seront pas pris en compte.

### 2.1. Des solutions d'amélioration de la physique du sol

La physique du sol correspond comme énoncé précédemment à sa texture et à sa structure. En cas de propriétés physiques peu favorables au développement de la végétation, il est possible de reconstruire le sol en augmentant la porosité par apport d'éléments structurants ou en utilisant les plantes.

#### 2.1.1. Une augmentation de la porosité par apport de matériaux à granulométrie variable

La Circonscription des Études Végétales en collaboration avec l'INRA a réalisé en mars 1997 à la Pépinière de l'est, dans le Bois de Vincennes des plantations d'érables et de marronniers (Plante & Cité, 2013). Certains arbres sont plantés en fosses cubiques remplies de terre végétale (témoins) et les autres sont plantés en fosses cubiques remplies de substrat reconstitué. Le substrat reconstitué est composé de trois couches de granulométrie croissante et de fertilité chimique décroissante de la surface vers les fonds de fosses comme le montre la Figure 7. Ils ont ensuite réalisé un comptage racinaire en juillet 1999.

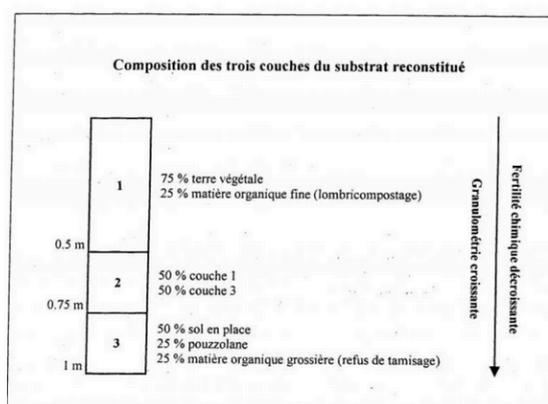


Figure 7 - Composition des couches du substrat reconstitué à granulométries différentes (Plante & Cité, 2013)

Les conclusions sont que sur les arbres étudiés les racines sont beaucoup plus nombreuses dans les fouilles remplies de substrat reconstitué. L'apport de porosité par des corps étrangers comme des sacs plastiques ou des pots cassés peut aussi créer un grand nombre de racines dans les poches d'air ou d'eau.

En reconduisant l'expérience en 2001, les résultats sont les mêmes : il est donc possible d'améliorer l'enracinement en proposant des milieux plus poreux aux racines mais pas forcément plus riches. De plus, en substrat reconstitué les racines sortent moins dans le milieu environnant ce qui peut limiter les dégâts (réseaux, revêtements) en milieu urbain par exemple.

Pour les marronniers, la croissance a été supérieure voire doublée avec le substrat reconstitué par rapport à la terre végétale.

Donc il est possible d'améliorer l'enracinement (racines plus profondes et plus nombreuses) en proposant des milieux plus poreux aux racines sans être plus riches pour autant. (Plante & Cité, 2013)

Ainsi pour augmenter la porosité du sol il est possible de fournir au sol des éléments grossiers comme la pouzzolane, des sacs plastiques, des pots cassés en céramiques ou des morceaux de terre cuite comme dans l'expérimentation proposée ci-dessus. Dans le cas des Règles professionnelles du paysage (Grosbellet et al., 2012), il est conseillé de réaliser des amendements minéraux "granulaires" comme l'argile expansée, la perlite, le sable volcanique, la vermiculite, etc. permettant d'augmenter la perméabilité, la disponibilité en eau pour les plantes et la résistance mécanique du sol en place.

### 2.1.2. L'amélioration de la structure du sol par les plantes

Lorsqu'un sol est trop compacté, il est possible de le décompacter sans l'aide d'engins de chantier en utilisant ce que l'on appelle des "plantes restructurantes".

Une expérimentation sur deux sites, Bettens et Marcelin, un chantier et un verger avec différents couverts végétaux ont été réalisés, comme le sorgho du Soudan ou la luzerne. (Benoît, 2019)

Les analyses ont permis de montrer l'amélioration de la qualité structurale entre l'état initial et l'état final des deux sites au cours d'une saison. En effet, les teneurs en air, en eau et la porosité ont fortement augmenté.

Cette méthode semble prometteuse car elle est simple et à moindre coût.

De même, en cas de risque d'érosion ou de ravinement, les plantes restructurantes peuvent maintenir l'état structural du sol.

Ainsi l'utilisation de légumineuses et de graminées pour végétaliser les pistes alpines est réalisée. (Gros, 2004) Les espèces sont choisies pour favoriser le retour des populations autochtones. Les graminées possèdent un système racinaire dense, traçant ou gazonnant, qui colonise les horizons superficiels du sol, ce qui permet la cohésion des particules et la structuration physique du sol. Les racines des graminées produisent une solution riche en polysaccharides, qui stabilisent les agrégats directement, ou indirectement et fournissent une source d'énergie pour les organismes souterrains. Ces microorganismes sécrètent également des polysaccharides agrégeants. La production de polysaccharides par les graminées et leurs microorganismes associés rendent les agrégats de l'horizon concerné plus hydrophobes et plus stables que ceux du sol minéral environnant. Cela permet une plus grande stabilité du sol. L'exemple du blé est utilisé.

Ces solutions naturelles permettent d'augmenter la biodiversité du site sans le dégrader et en améliorant son état structural.

## 2.2. Des solutions d'amélioration de la chimie du sol

L'objectif est d'améliorer la chimie du sol en apportant les éléments nutritifs manquants par amendements organiques, en améliorant le pH par l'apport d'amendements minéraux basiques ou en traitant la pollution existante.

### 2.2.1. Les amendements organiques

Les amendements organiques tels que le compost, le BRF ou le charbon végétal s'incorporent au sol dans les 20 à 30 premiers centimètres et ne doivent pas être introduits en profondeur. En effet, dans le cas contraire cela peut entraîner une décomposition anaérobie de la matière organique, ce qui pourrait limiter l'accès à l'oxygène du sol pour le système racinaire.

Le compost est un produit valorisable résultant d'une dégradation et d'une transformation accélérée de déchets organiques par les êtres vivants en milieu aérobie. Le compost est proche de l'humus mais en conditions contrôlées. Le compost est une source de nutriments qui permet un développement et une croissance des plantes plus importante.

Le compost en milieu urbain se caractérise généralement par des déchets verts ou des boues d'épurations

L'ajout de compost est associé à une amélioration du sol (meilleur taux et disponibilité des nutriments) et une amélioration de la nutrition des plantes (nutrition foliaire et taux de chlorophylle). Libérant des quantités suffisantes de phosphore (P) et potassium (K) directement disponibles, le compost favorise la croissance végétale racinaire mais aussi la ramification et l'allongement des entre-nœuds. Le développement des racines permet de maintenir la structure porale facilitant la circulation de l'eau. (Horticulture & PAYSAGE, 2010) Il réduit également le pH et la densité apparente du sol. De plus, que le compost soit associé à un travail du sol ou déposé en surface de cultures, il n'y a pas de différences d'effet. (Andresen et al., 2022) Il est donc préférable de travailler l'amendement en fonction des conditions environnementales. En effet sur un talus, le compost aura tendance à raviner en cas de fortes pluies s'il n'est pas enterré.

Le compost a d'abord un impact à la fois sur la chimie mais également sur la physique du sol avec un maintien important des effets dans le temps.

Le BRF ou Bois Raméal Fragmenté est à la fois un amendement organique et un paillage. C'est une démarche écologique née au Canada dans les années 90 qui consiste à utiliser des branches fraîches et jeunes de feuillus broyées en petits morceaux (taille maximum de 7 cm pour les branches utilisées). Le BRF permet de faire des économies d'eau en retenant l'humidité dans le sol réduisant les besoins d'arrosage. Il limite aussi les adventices en couvrant le sol, enrichi la terre grâce à la digestion du bois en humus par les micro-organismes du sol, recycle le bois mort et améliore la structure du sol (porosité, structure, compaction). En revanche, le BRF provoque la première année une immobilisation de l'azote et du phosphore car il prend du temps à se décomposer et est riche en carbone ce qui augmente le rapport C/N, cela peut être compensé par un apport de compost à côté. (Logvenoff et al., 2011)

Le biochar ou charbon végétal est un matériau carbonisé stable obtenu par la pyrolyse de biomasse (déchets organiques, résidus agricoles ou déchets forestiers), qui est une combustion lente en l'absence d'oxygène. Cette combustion a lieu à des températures entre 400 et 700°C. (Bertoldi, 2023) C'est un amendement à durée de vie beaucoup plus longue que le compost.

Le charbon végétal a un effet sur la fertilité chimique du sol. C'est un élément très poreux qui permet, une fois ajouté au sol, d'augmenter la capacité du sol à retenir les nutriments en les fixant dans ses pores. Il a un effet stabilisateur sur la matière organique. De plus, ajoutée au compost, la surface du charbon se modifie ce qui lui permet de stocker les nitrates et les phosphates. Cela permet de réduire le lessivage des nutriments et des polluants organiques qui peuvent contaminer

les eaux souterraines et d'améliorer leur disponibilité aux plantes en devenant une source de stockage des éléments nutritifs. (Albu, 2017)

Sa nature poreuse favorise également la rétention d'eau, augmentant la capacité du sol à conserver l'humidité, mais aussi l'aération du sol. La capacité de rétention d'eau du biochar est de 200% à 500% de son volume propre. (Bertoldi, 2023) Ces facteurs stimulent la croissance des racines.

Le biochar est principalement utilisé pour améliorer la qualité des sols mais possède également des propriétés intéressantes pour l'environnement et la lutte contre le changement climatique. En effet, celui-ci peut séquestrer le CO<sub>2</sub> dans le sol aidant à réduire la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Il permet aussi de réduire les émissions de gaz à effets de serre comme le méthane (CH<sub>4</sub>) ou le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).

Cependant, à cause de sa surface poreuse et de sa capacité de rétention, il existe des risques avec les produits phytosanitaires et les polluants. Il faut donc garantir qu'aucune substance nocive ne soit introduite dans le sol avec le charbon végétal. En cas de concentration trop élevée des polluants, cela peut avoir des effets négatifs sur les organismes du sol notamment sur les vers de terre. (Bertoldi, 2023).

Son prix assez élevé reste pour le moment un frein à son déploiement à grande échelle.

### 2.2.2. Les amendements minéraux basiques

Les amendements minéraux basiques sont destinés principalement à maintenir ou à élever le pH du sol et à en améliorer les propriétés physiques. Ces amendements contiennent des carbonates, des oxydes, des hydroxydes et/ou des silicates, généralement associés à du calcium et/ou du magnésium. (Grosbellet et al., 2012) Par exemple, la chaux (carbonate de calcium) est l'amendement le plus utilisé. En plus de travailler sur le pH, ces amendements apportent des nutriments comme le calcium ou le magnésium. Ils permettent une meilleure aération et infiltration du sol en réduisant l'acidité et en permettant aux particules de mieux s'agréger entre elles. En cas de sol argileux sa basification permet au sol assez compact de se désagréger ce qui améliore la structure. En basifiant le sol, certains métaux lourds toxiques en milieu acide perdent une partie de leur toxicité comme l'aluminium.

### 2.2.3. Le traitement de la pollution par la technique humaine ou végétale

Dans de nombreux cas de sols urbains, ceux-ci sont contaminés par des polluants généralement liés à l'activité industrielle du site. En l'état, certains sols ne peuvent être utilisés et nécessitent une forte dépollution. Il existe pour cela des techniques peu invasives pour le sol qui ne nécessitent pas une extraction et un transport dans un site de dépollution mais qui peuvent se faire sur place, ce sont le Venting/Bioventing et la Phytoremédiation.

Le Venting consiste à extraire les vapeurs des Composés Organiques Volatiles (COV) par l'injection d'air sous pression et à débit élevé dans un sol saturé par l'intermédiaire de forages crépinés, localisés en bordure de la zone à traiter. Ce processus aspire les contaminants vers la surface où ils sont pompés et traités ultérieurement. C'est une technique peu coûteuse mais elle ne traite pas les contaminants non volatiles ou ceux peu solubles dans l'eau ce qui nécessite un traitement supplémentaire qui peut être le Bioventing.

Le Bioventing est une forme améliorée du Venting mais plus lente où l'air est injecté dans le sol à faible débit par des ventilateurs électriques présents dans des puits souterrains afin de stimuler l'activité des microorganismes présents qui dégradent les contaminants organiques lourds comme les hydrocarbures. Il y a tout de même une élimination des polluants par volatilisation mais bien plus faible que pour le Venting. Grâce à ces techniques le sol est aéré et favorise la croissance des microorganismes. (Lebeau, 2017)

La Phytoremédiation est une technique de dépollution qui utilise le métabolisme de certaines plantes pour accumuler, transformer, éliminer, dégrader, concentrer, stabiliser ou volatiliser des polluants présents dans le sol, l'eau ou l'air. Ces polluants sont des molécules organiques et inorganiques, des métaux et radioéléments. La phytoremédiation repose sur plusieurs mécanismes spécifiques à bien choisir selon le type de contaminants pour y adapter la plante à utiliser (Cabello Hurtado et al., 2009) (Bourguignon et al., 2016) :

- la Phytostabilisation : les plantes sont utilisées pour stabiliser les contaminants dans le sol par absorption et séquestration des polluants au niveau des racines. Ce qui empêche les contaminants de se déplacer que ce soit par le vent ou leur lessivage par les eaux de pluies vers les nappes phréatiques. Cette méthode est utilisée principalement pour les métaux lourds, les radioéléments comme l'uranium ou d'autres contaminants inorganiques difficilement dégradables. Le Peuplier noir (*Populus nigra*) ou la Fétuque rouge (*Festuca rubra*) sont couramment utilisés ;
- la Phytoextraction ou Phytoaccumulation: les plantes extraient les polluants du sol, les transportent à travers leur tissu et les accumulent que ce soit dans leurs racines, dans les tiges et les feuilles. Les plantes sont dites accumulatrices et peuvent ensuite être récoltées que ce soit entièrement ou partiellement (selon l'organe concerné) puis éliminées de manière sécurisée dans des centres spécialisés. Les polluants concernés sont les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le mercure, le cuivre ou l'or et des radioéléments (césium, strontium, etc.) et peuvent être traités par le Tournesol (*Helianthus annuus*) et le Saule (*Salix*) par exemple ;
- la Phytodégradation : les plantes tels que la Luzerne (*Medicago sativa*) absorbent et décomposent les contaminants organiques en produits moins toxiques ou inoffensifs par la libération d'enzymes et par des processus d'oxydation et de réduction. Les polluants dégradés sont ensuite incorporés dans la plante ou libérés de nouveau dans le sol. Cette technique est utile face aux composés organiques tels que des herbicides, insecticides, hydrocarbures, explosifs, etc. ;
- la Phytovolatilisation : les plantes absorbent, transforment et dégradent certains types de polluants en gaz moins toxiques qui sont ensuite libérés dans l'atmosphère à travers le processus d'évapotranspiration de la plante. Quelques composés organiques, solvants chlorés et métaux (sélénium, mercure) sont concernés et peuvent être traités grâce à l'*Arabidopsis thaliana* par exemple ;
- la Phytofiltration (ou Rhizofiltration) : lorsque les plantes utilisent leurs racines pour absorber ou précipiter les contaminants présents (métaux lourds ou radionucléides) dans les eaux polluées permettant de les purifier. Des végétaux tels que la Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) ou le Roseau (*Phragmites australis*) ont un grand pouvoir de filtration et purification ;
- la Rhizodégradation (ou Phytostimulation) : les plantes comme le Ray-grass (*Lolium perenne*) sont utilisées pour stimuler l'activité microbienne des microorganismes présents dans le sol capables de dégrader les polluants ;
- la Phytorestauration : l'objectif est la décontamination du milieu par les plantes en réintroduisant des espèces indigènes aux capacités dépolluantes. Cela permet la

restauration totale des sols pollués et le retour vers un état naturel proche des conditions écologiques existantes avant la contamination.

Les avantages de ces techniques utilisant les plantes contre les polluants sont :

- le faible coût de réalisation car cela représente 10 à 1000 fois moins que les traitements classiques ;
- les plantes s'adaptent aux grandes superficies et volumes contaminés ;
- dans certains cas les polluants peuvent être récupérés et traités en conséquence ;
- à partir des déchets de biomasse que ces techniques peuvent engendrer, il est possible par incinération de produire de l'électricité ou du chauffage, les cendres d'incinération contenant des métaux peuvent également être valorisées ;
- ces techniques par apport de végétation ont une valeur esthétique ;
- contrairement à un décaissement du sol et son transport dans une centrale de pollution, le milieu contaminé est peu perturbé.

Cependant la phytoremédiation est une technique longue demandant la plupart du temps au minimum 3 ans de traitement et durant ce temps, les plantes sont soumises à des aléas de température, d'arrosage, de prédateurs ne pouvant garantir leur survie. Ces techniques sont limitées à la profondeur atteinte par les racines, de ce fait, la pollution doit être peu profonde pour être ainsi traitée (entre 50 cm et 3m). (Cabello Hurtado et al., 2009)

### 2.3. Des solutions d'amélioration de la biologie du sol

Pour améliorer la vie biologique du sol, il est possible d'inoculer des préparations microbiennes ou encore l'apport de colonies de lombrics.

#### 2.3.1. Les préparations microbiennes

Les préparations microbiennes sont de la matière fertilisante à base d'organismes microscopiques végétaux, mycorhiziens, animaux et bactériens ayant une action sur la croissance et le développement des végétaux ou un effet améliorant les propriétés biologiques et/ou physiques du sol. (Grosbellet et al., 2012)

L'objectif est de travailler sur le rôle symbiotique entre les plantes et leurs champignons ou bactéries symbiotiques, c'est la bio-dynamisation. Dans le cas de solutions de bactéries symbiotiques des plantes légumineuses les rhizobiums, leur inoculum permet un apport important d'azote et de carbone dans les sols, active la vie des sols, permet une croissance plus rapide des plantes et pas seulement des légumineuses associées. Certaines bactéries peuvent permettre également une meilleure résistance aux parasites. (Brunstein, 2020)

D'autres organismes microbiens que les rhizobiums peuvent être utilisés comme les mycorhizes (résistance au stress hydrique et croissance), les *Trichoderma* (protection racinaire et croissance végétale), des algues (fertilité et azote), des *Bacillus* (protection et germination), les *Pseudomonas fluorescens* (antifongiques et phytohormones). Certaines transforment également les propriétés physico-chimiques des polluants présents dans le sol permettant une meilleure absorption par les plantes lors de la phytoremédiation (partie 2.2.3, page 17).

En milieu urbain de nombreuses expérimentations ont été réalisées sur des sols scellés pendant des années, d'anciennes friches industrielles souvent diagnostiqués comme stériles.

Le quartier Les Fabriques à Marseille en est un exemple. Après 70 ans de scellement sous une ancienne friche portuaire, les sols pollués, bétonnés, enrobés doivent accueillir un projet

d'écoquartier. Ce projet nécessiterait des apports de 12 000 à 15 000 m<sup>3</sup> de terres végétales rien que pour les espaces paysagers. (Loviton et al., 2022) L'entreprise Ilex en collaboration avec Egis et le CNRS de Montpellier a donc opté pour une réhabilitation du sol en place grâce aux communautés ectomycorhiziennes résidentes qui permettent une meilleure assimilation des nutriments et de l'eau pour les plantes. Les limons composant le site ont d'abord été dépollués et analysés pour déterminer si une part de vie biologique était toujours présente dans ces sols. Ensuite ont été ajoutés aux limons des inocula de fragments de sols issus de milieux naturels limitrophes (garrigues) avec leur communauté mycorhiziennes associées. Plusieurs planches ont été réalisées chacune avec un inoculum et les plantes correspondantes au milieu de prélèvement de l'inoculum.

Les résultats ont montré que, même après 70 ans de confinement, les spores ectomycorhiziens encore présents dans les sols scellés ont pu s'établir sur les racines des végétaux montrant que la vie y existait encore même si inactive. De plus les inoculums provenant de milieux naturels ont montrés des interactions entre ses champignons et les végétaux mis en place (Ilex, 2024)

Ces expérimentations par inoculum donnent l'espoir de recréer des sols vivants avec des colonies microbiennes actives ce qui est bénéfique à la bonne santé du sol et à une bonne croissance végétale.

### 2.3.2. Paillage vivant ou Lombricompost

Le lombricompostage est une méthode d'utilisation des vers composteurs en vue de transformer de la matière organique (généralement des déchets verts, organiques) en un compost riche et fertile connu sous le nom de lombricompost ou vermicompost.

Il existe trois types de vers de terre :

- les anéciques : ce sont des vers fousseurs qui font surface la nuit afin d'emmener de la nourriture dans leurs galeries creusées dans les couches minérales profondes du sol comme par exemple le lombric commun ou le ver nocturne rampant.
- les endogés : ce sont également des vers fousseurs, mais leurs trous sont généralement moins profonds ; ils se nourrissent de la matière organique du sol et viennent rarement à la surface.
- les épigés : ce sont les vers utilisés pour le lombricompostage, ces vers vivent dans la litière à la surface du sol et se nourrissent de la matière organique en décomposition. Ils n'ont pas besoin de creuser profondément le sol et n'ont pas de trous permanents. L'*Eisenia fetida* est l'une des espèces les plus utilisées pour le lombricompost.

L'amendement de lombricompost consiste à installer des nids de reproduction de vers avec un substrat d'alimentation sur la surface à traiter permettant une colonisation du milieu.

Pour un bon fonctionnement, les vers ont besoin d'un milieu favorable, une litière riche en matière organique. Le sol doit être suffisamment humide (humidité pondérale d'au moins 50 %) et aéré. De ce fait, en cas de température extrême de gel ou de sécheresse, il faut protéger la zone traitée avec le lombricompost. Le pH doit être compris entre 5 et 9 même s'il est préférable de le maintenir autour de 7, en dessous il y a un risque de développement de parasites tels que les acariens. Il faut donc aussi faire attention aux différents ravageurs possibles tels que les taupes, les oiseaux, les mille-pattes, les fourmis ou les acariens. (Munroe, 2004)

Ainsi une fois installé, il faut éviter toute mécanisation de compaction des sols qui pourrait nuire aux populations de vers. Il faut également éviter l'utilisation de produits phytosanitaires ou d'engrais chimiques (sels, urée, etc.) qui peuvent être toxiques pour les vers. L'arrosage intégré sur le site est obligatoire ou fortement conseillé, en goutte à goutte léger pour ne pas noyer les

vers, ne pouvant se permettre d'avoir un sol sec limitant les déplacements et la survie des épigés. Enfin en cas d'apport de paillage, il faut éviter tout broyat provenant de conifères qui contiennent des tanins, composés difficiles à dégrader pour les vers. (Terrestris)

De manière générale, le lombricompost a des effets supérieurs au compost conventionnel que ce soit pour la production de nutriments à partir de la litière ou la réduction de déchets organiques par leur recyclage. Ils produisent également un thé de compost, engrais naturel pour les plantes. Les épigés créent un horizon humifère avec une structure favorable aux végétaux favorisant leur croissance et la résistance aux pathogènes. Cela permet également un développement de la vie du sol et une amélioration des qualités du sol que ce soit pour la structuration du sol et la capacité de rétention en eau par la favorisation du CAH et d'infiltration grâce à un meilleur drainage.

En revanche comparé à un compost classique, le lombricompost demande davantage de coût par l'achat des vers, l'élevage, le temps de mise en place et la main d'œuvre. Il n'est pas compatible avec une volonté d'arrosage limitée ce qui peut être problématique en milieu urbain.

#### 2.4. Conclusion sur les différents apports présentés

Les solutions d'amélioration du sol ne manquent pas que ce soit pour l'apport de matière organique, une meilleure structuration du sol, une favorisation de la biodiversité souterraine ou un travail de la chimie. De plus, l'ensemble des propriétés du sol sont liées et l'impact sur l'une d'entre elles peut en favoriser une autre donnant à chaque apport présenté précédemment une diversité d'avantages. Le **Tableau 5** peut servir d'outil et permet de mieux comprendre quelles techniques utiliser en fonction du ou des objectifs recherchés.

**Tableau 5 : Comparaison des avantages des différentes techniques présentées et leurs inconvénients notables (Porcher, 2024)**

Techniques	Apport de nutriments	Croissance racinaire	Croissance végétale aérienne	Amélioration de la structure	Disponibilité en eau	Aération	Vie biologique du sol	Décompaction	Résistance mécanique	Limitation des risques d'érosion	Impact sur le pH	Limitation des adventices	Protection sanitaire (pathogènes, parasites,...)	Dépollution	Séquestration des gaz à effets de serre	Traitement des déchets organiques	Réutilisation de matériaux	Inconvénients
Corps étrangers inorganiques à granulométrie variable																		
Amendements minéraux granulaires																		
Plantes restructurantes																		Temps d'action long.
Compost																		Immobilisation de l'azote la première année.
BRF																		Retient les polluants même ceux nocifs pour les organismes et les plantes. Prix élevé.
Biochar																		
Amendements minéraux basiques																		Ne traite pas les polluants non volatils.
Venting																		
Bioventing																		Pollution profonde (au delà des racines) n'est pas traitée. Technique qui prend du temps (minimum 3 ans).
Phytoremédiation																		Technique coûteuse.
Préparations microbiennes																		Plus coûteux que le compost. Maintien d'un sol humide.
Lombricompost																		

## **Partie 3 : Aménagements paysagers et projet de produire un sol vivant à partir du sol en place à travers l'exemple du Parc Jacques Tati**

L'objectif de cette dernière partie est maintenant de proposer une méthodologie d'amélioration du sol en place à partir des méthodes analysées précédemment, applicable à un cas concret: le Parc Jacques Tati à Angers. Pour cela, il sera tout d'abord abordé les étapes techniques menant à la valorisation d'un sol durant un projet d'aménagement paysager. Puis, il y aura une contextualisation et une présentation des intentions du projet sur le Parc Jacques Tati réalisé par l'Agence Résonance Urbanisme & Paysage. Enfin, il sera présenté une analyse de sol qui permettra de proposer une amélioration du sol du Parc Jacques Tati en fonction des besoins.

### **3.1. Le projet paysager, plusieurs étapes pour la mise en place d'un sol de plantation**

Le projet paysager se découpe en au moins 6 étapes pour l'aménagement d'un sol de plantation. Cela va de la phase diagnostic du terrain en place, au commencement des travaux, au stockage du sol terrassé et à la préparation des fosses de plantation et du sol de plantation puis enfin à l'installation de la palette végétale. Ces étapes sont classiques et s'appliquent à chaque projet. Seul le type de transformation et de valorisation du sol peut changer en fonction de la nature et des besoins du substrat en place.

#### **3.1.1. Etat initial et diagnostic du sol**

Lors des phases de diagnostic et d'avant-projet, il est important d'établir l'histoire, le contexte géographique de milieu pouvant mettre en avant les contraintes et avantages du terrain à aménager que ce soit en milieu urbain, agricole etc. Il faut aussi déterminer ce qu'il y a à conserver que ce soient des ouvrages existants, la présence de réseaux à prendre en compte et les végétaux déjà en place avant toute proposition du nouvel aménagement.

Dans le cas d'une volonté d'amélioration des sols en place sans apport d'une terre végétale extérieure, il faut réaliser des analyses du sol durant les premières phases de projet. Ces analyses doivent déterminer la qualité chimique, physique et biologique ou la pollution afin d'établir à l'avance la marche de manœuvre la plus optimale pour traiter le sol.

Les analyses sont importantes car certaines techniques peuvent prendre du temps et être prévues à l'avance. Souvent, pour les projets d'aménagement d'espaces publics il existe un délai de quelques années avant la phase chantier. En cas de pollution par exemple, Il faut prévoir d'effectuer un traitement du sol que ce soit dans une station de traitement spécialisée ou sur place avant tous travaux tel que le bioventing qui se fait sans décaper la couche polluée.

Ces analyses peuvent aussi permettre d'adapter la palette végétale au maximum au sol existant afin d'avoir une meilleure prise du végétal et un besoin moindre de modifications à effectuer.

De plus, en fonction de la zone de projet, de possibles fouilles archéologiques préventives peuvent être réalisées.

### 3.1.2. Terrassement et nivellement du terrain

Le terrassement et le nivellement sont deux étapes clefs, elles préparent le terrain avant toute construction d'infrastructures (bâtiments, routes, chemins ou autres) et avant les plantations.

Le terrassement est l'ensemble des opérations qui consistent à déplacer des quantités de terres ou de roches pour modifier le relief naturel du terrain. Cela inclut l'excavation, le déblai, le remblai et le transport des matériaux. L'objectif est de créer une surface stable et adaptée au projet.

Le nivellement quant à lui est une étape du terrassement qui consiste à ajuster et uniformiser la surface du terrain en fonction des côtes projets déterminées donc assurer le relief, les pentes adéquates et demandées.

Le décapage du sol doit se faire couche par couche de façon à stocker séparément et ne pas mélanger les différents horizons du sol. Cela permet de mettre la couche de surface (la terre la plus agronomiquement riche) à part sans la mélanger au reste des horizons agronomiquement moins intéressants. Il ne faut pas non plus contaminer les différentes couches avec des matériaux étrangers ou d'autres terres de qualité différente. La profondeur de décapage est déterminée par l'épaisseur du sol fertile. Le décapage doit se faire dans des conditions de sol sec, cohérent afin d'éviter son compactage lors du prélèvement par les engins de chantier. La teneur en eau de la terre doit donc être inférieure à la limite de plasticité, au-delà le sol se comporte de manière plastique et est donc facilement déformable. Les travaux n'ont donc pas lieu en cas d'intempéries. (Beaugé et al., 2021) (Grosbellet et al., 2012)

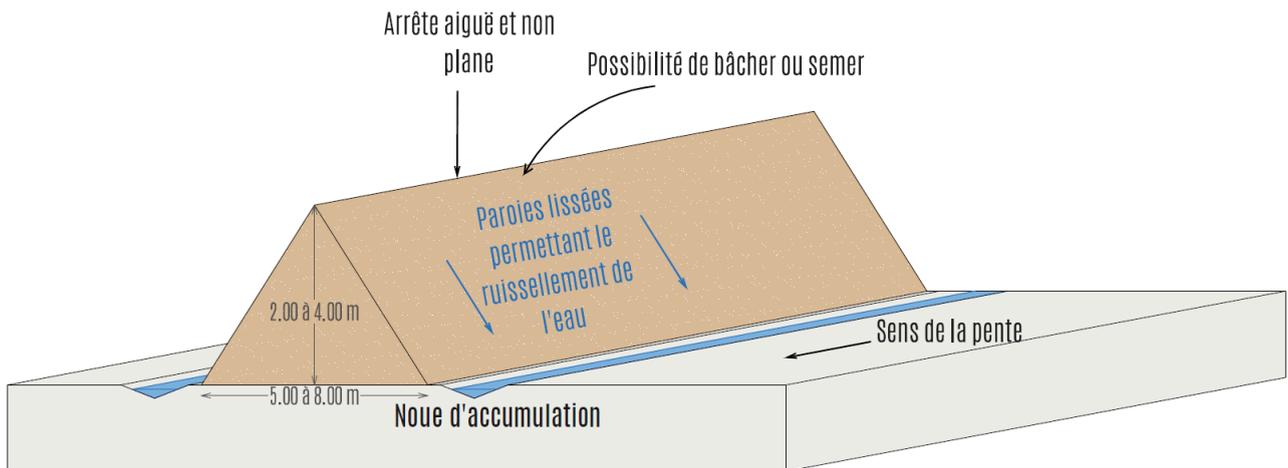
Une fois décapé, le sol doit être stocké. Or, en cas de matériaux terreux grossiers il faut d'abord cribler et concasser, le criblage peut se faire par une pelleteuse équipée en godet cribleur ou godet cribleur/broyeur et le concassage est effectué par un tracteur agricole équipé d'un concasseur rotatif à marteaux. Puis les différentes couches de sol sont stockées en andains.

### 3.1.3. Stockage de la terre excavée

Les surfaces destinées au dépôt des terres sont préalablement nettoyées puis les andains sont formés. Les engins de chantier doivent veiller à ne pas rouler sur le stock de terre surtout lors de leur mise en place en andain.

Les andains (voir Figure 8) sont de forme triangulaire sans surface plane et avec les parois lissées ce qui favorise le ruissellement de l'eau et limite son accumulation et son infiltration. Car l'eau pourrait modifier la disponibilité en oxygène et provoquer des conditions d'anaérobie. De même, pour empêcher la stagnation de l'eau en pied d'andain, celui-ci doit être orienté dans le sens de la pente et non perpendiculairement afin de permettre l'écoulement de l'eau sans retenue.

En cas d'intempéries et pour limiter la teneur en eau des matériaux, il est possible de bâcher l'andain ou alors il faut mettre en place un système de drainage et/ou de noue à son pied.



**Figure 8 - Les andains, moyens de stockage de la terre durant les aménagements paysagers (Porcher, 2024)**

A sa base, l'andain fait entre 5 et 8 m de large pour une hauteur moyenne de 2 à 4 m. Cependant, la hauteur et la durée de stockage dépend déjà du type de la couche selon si c'est une couche de surface ou non. Ensuite, cela dépend de l'humidité de la terre et de sa limite de plasticité mais également si c'est un sol à texture dominante sableuse ou non sableuse comme le montre le Tableau 6 proposé par les Règles professionnelles du paysage. (Grosbellet et al., 2012)

**Tableau 6 - Hauteur de l'andain et durée maximale de stockage pour des terres ressources issues de couches de surface et dont le taux de matière organique est supérieure à 1 % (Grosbellet et al., 2012)**

Humidité de la terre par rapport à la limite de plasticité	Texture dominante de la terre	Hauteur de l'andain recommandée	Durée maximale de stockage
H° < LP	sableuse	< 6 m	< 2 ans
	non sableuse	< 4 m	< 2 ans
H° > LP	sableuse	< 4 m	< 1 an
	non sableuse	< 2 m	< 6 mois

Ainsi, si la terre est faiblement humide et de texture dominante non sableuse, l'andain aura une hauteur maximale de 4 mètres et ne pourra pas être stocké plus de 2 ans.

De ce fait, si la durée de stockage le permet, il est possible de semer l'andain avec des plantes restructurantes herbacées comme le gazon qui limitera son érosion ou sa compaction grâce à la structuration par les racines. L'eau infiltrée sera utilisée par les plantes qui empêcheront également au maximum l'invasion de l'andain par des adventices qui pourraient former dans la terre une banque de graines d'adventices plus importante.

La durée de stockage étant limitée elle oblige donc à anticiper au maximum l'amélioration du sol et à s'adapter.

#### 3.1.4. Préparation de la structure des fosses de plantation

Par le processus de terrassement sont formés des fonds de forme, ceux-ci doivent être poreux, perméables et sans excès d'eau. Cependant, avec les passages des engins de chantier, ceux-ci sont souvent trop compacts.

Ils doivent être formés en prenant en compte les tranchées nécessaires pour les différents réseaux à mettre en place.

Les fosses de plantation sont également dimensionnées selon les besoins des végétaux présents comme exposé précédemment (partie 1.5, page 12) soit au minimum 1 m de profondeur pour les fosses d'arbre et 50 cm pour les massifs arbustifs.

Il faut faire une distinction entre les fonds de forme destinés aux constructions et voiries et ceux destinés aux plantations et engazonnements. Pour les plantations, les fonds de forme doivent être suffisamment perméables pour permettre une bonne colonisation des racines tout en assurant une bonne continuité par rapport au substrat de plantation qui sera utilisé.

Les fonds de forme créés subissent souvent un décompactage. D'après le Fascicule 35, pour la strate herbacée, le décompactage doit se faire sur une épaisseur minimum de 20 cm contre 50 cm pour les arbustes et 1 m pour les arbres. Le décompactage doit cependant éviter de lisser les parois des fosses de plantation lors de sa réalisation.

Un système de drainage peut être mis en place en fond de fosse de plantation.

Une fois le constat d'achèvement des fosses de plantation signé par les différents partis, il est possible de mettre en place le substrat de plantation et les végétaux.

#### 3.1.5. Amélioration du sol en place et plantations

Une fois les conditions réunies pour mettre en place la terre de plantation et les végétaux, il faut faire les modifications et les apports nécessaires pour valoriser la terre en place stockée en andains. Pour cela, il faut s'appuyer sur les analyses de terre réalisées afin de ne pas faire d'apports inutiles.

Pour éviter de la perte, les apports organiques doivent se faire en surface ou dans la couche de surface car dans les autres horizons de sol souvent destinés à une profondeur en dessous de 50 cm, la matière organique sera peu ou pas dégradée.

Chaque horizon doit être travaillé en fonction des besoins organiques ou structurels.

La mise en place des sols doit se faire dans des conditions optimales en fonction de l'humidité, de la nature du sol, de la météo et de la pente. L'humidité doit être inférieure à la limite de plasticité pour éviter sa compaction et il faudra s'adapter dans le cas où le sol est sableux ou argileux. Les travaux de sol en temps pluvieux sont proscrits et se font plutôt en période sèche de mai à octobre.

Les fosses de plantations sont remblayées avec le substrat modifié et les plantations peuvent avoir lieu.

Dans le cas où elles ne se font pas immédiatement lors de la mise en place de la terre de plantation, le nivellement des fosses peut être réalisé sans contraintes. Cependant, si elles sont effectuées directement, seul un plombage (nivellement et tassement par l'eau) peut être autorisé pour ne pas abîmer les végétaux mis en place. Une épaisseur minimale de la terre de plantation après nivellement est autorisée. Ainsi, pour les vivaces, la terre nivelée ne peut pas être

d'épaisseur inférieure à 30 cm. Pour les arbustes, la limite est de 50 à 60 cm et pour les arbres de 1 mètre. Des sondages sont réalisés pour vérifier cette épaisseur et une tolérance de plus ou moins 15% est autorisée. (Beaugé et al., 2021)

Avec la plantation, a lieu une taille de forme et la mise en place de tuteurage. En cas de besoins, le système d'arrosage doit être installé avant la plantation.

A leur pied est réalisé un paillage comme le mulch, des toiles ou des films de paillage.

Il se peut qu'il soit mis en place un mélange terre-pierre pour les gazons ou prairies accueillant de la végétation au système racinaire peu profond. Ainsi, un squelette minéral composé de pierres est complété avec de la terre de plantation. Elle remplit les vides occasionnés par la granulométrie des pierres et permet d'obtenir une structure stable qui ne se compactera pas et qui pourra accueillir les racines des petits végétaux. Cette structure terre-pierre limite les conséquences du piétinement.

### 3.1.6. Gestion après chantier jusqu'à pérennisation

La reprise de la végétation est souvent observable à partir de 3 ans pour un arbre après la fin du chantier et un peu moins de 2 ans pour les arbustes. Malgré tout, la pérennité des plantations n'est pas garantie. Un constat de reprise est réalisé par les entreprises du paysage à 1 an du chantier. Il détermine si les végétaux plantés sont encore en état, s'ils ont pris racine et s'ils se développent. Dans le cas contraire, les végétaux en mauvais état sont remplacés et les conditions d'entretien sont renforcées. Ainsi, les premières années d'implantation doivent être suivies afin de garantir les bonnes conditions d'arrosage et de réaliser des apports en matière organique si nécessaire. Des entretiens réguliers des espaces verts doivent être réalisés.

Contrairement à l'utilisation d'une terre végétale respectant la Norme NF U44-551, l'amélioration des sols en place est expérimentale. Il est donc d'autant plus important de bien surveiller les conditions de réalisation des plantations et la prise des végétaux.

## 3.2. Le Parc Jacques Tati, un petit parc urbain au cœur du projet de rénovation du Grand Belle-Beille

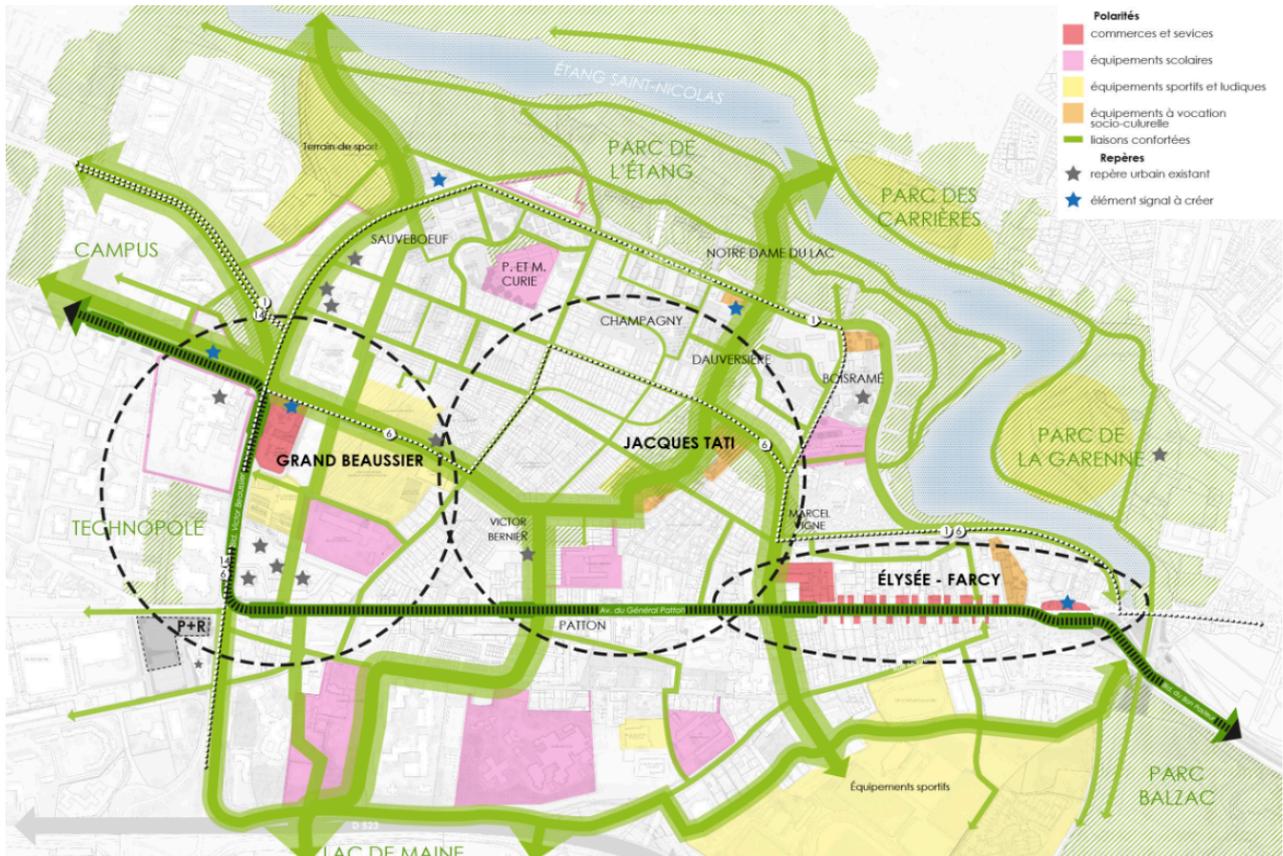
Le Parc Jacques Tati est localisé à Angers dans le quartier de Belle-Beille. C'est un parc urbain situé entre la Piscine des Balcons du Dauphiné et le Centre Jacques Tati. Il fait partie d'un projet plus large : la requalification et la rénovation verte du Grand Belle-Beille aménagé par Alter Publique dont la partie paysage est réalisée par le bureau d'étude Résonance Urbanisme & Paysage. L'objectif du projet du Grand Belle Beille est de créer et de renforcer les espaces de vie au sein de ce quartier, de recomposer le tissu urbain, de multiplier et de lier les polarités ainsi que de créer une liaison verte entre les différents parcs et espaces végétalisés.

Cette rénovation se fait selon le principe d'écoquartiers avec un travail sur les mobilités douces avec l'arrivée du nouveau tramway, et sur la création de bâtiments sobres reposant sur les énergies renouvelables.

Trois grands pôles ressortent dans l'organisation du quartier de Belle-Beille (voir Figure 9):

- le Grand Beaussier, avec son centre commercial, renforcé par le relais-mairie et un pôle santé,
- Élysée-Farcy, à vocation commerciale et de services,

- Jacques Tati, une polarité socio-culturelle et éducative qui s'étire vers la Place Dauversière au nord, le groupe scolaire Ferraro au sud, et la Place Marcel Vigne à l'Est.



**Figure 9 - Le Grand Belle-Beille et ses trois grandes polarités (Alter Publique, ID-UP, Résonance U&P,TPFI, VIZEA, 2021)**

Le Secteur Jacques Tati est à forts enjeux. D'abord, la proximité avec l'étang Saint Nicolas mène à la création d'une lanière verte de l'étang jusqu'à l'Avenue Patton. Cette trame verte permet de créer une continuité entre l'étang, le Parc Jacques Tati et l'ensemble des espaces verts existants.

Le Parc Jacques Tati est un petit parc de 8300 m<sup>2</sup>, c'est un espace de vie et de proximité destiné à tous les âges et qui apporte aux habitants un cadre de qualité. Il propose une aire de jeux destinée aux enfants, une topographie en de multiples petites collines et des traverses qui lient les différentes rues entre elles (Rue Eugénie Mansion et Rue Henri Hamelin) (voir Figures 10 et 11). Il offre également au quartier un environnement boisé, un poumon vert en partie protégé par le PLUi avec des arbres remarquables. Ce parc offre un îlot de fraîcheur composé de 3 strates de végétation : arborée, arbustive et herbacée.



**Figure 10 - Entrée du Parc Jacques Tati et son aire de jeux (Alter Publique, ID-UP, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2020)**



**Figure 11 : Espace boisé et traverse du Parc Jacques Tati (Alter Publique, ID-UP, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2020)**

L'objectif est de préserver le patrimoine arboré tout en le valorisant et en réduisant l'artificialisation des sols. La volonté est de composer avec l'existant. Le parc est desservi par le bus mais manque de visibilité depuis les axes majeurs. De plus, la limite avec les bâtiments existants est flottante et souvent réalisée avec des clôtures peu qualitatives. L'objectif est de retravailler les entrées de parc et le lien au quartier afin de créer une polarité plus attractive. Aussi, l'objectif est de renforcer et de développer les usages afin d'obtenir un "parc habité", un lieu de vie. Le stationnement sera mutualisé au sein du quartier en le rendant plus lisible car un potentiel de 185 places de parking à moins de 300 m existe déjà mais il est peu valorisé.

Une partie du bâti existant le long du parc sera recomposée pour mieux l'intégrer car les limites actuelles renferment le parc sur lui-même. La poste existante, par exemple, sera détruite et pourra être relocalisée dans l'un des bâtiments nouvellement créés.

La piscine, qui est quant à elle un équipement jusque-là vieillissant, est en cours de reconstruction et a pour objectif de rayonner à l'échelle de la ville en mettant en valeur le quartier et en s'inscrivant dans le quotidien des habitants. Elle a pour ambitions la transition écologique et l'exemplarité énergétique. La volonté est de créer un lien entre la piscine et le parc en travaillant sur la transparence car la piscine initiale tournait le dos à ce dernier. Il n'y aura plus de frontière mais une transition douce à dominante végétale naîtra entre les deux.

De même, il y aura une ouverture potentielle du Centre Jacques Tati vers le parc.

La Figure 12 ci-dessous montre l'existant et la recomposition du Secteur Jacques Tati selon les objectifs énoncés précédemment :



**Figure 12 - État existant du Secteur Jacques Tati et principe de recomposition (Alter Publique, ID-UP, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2021)**

Le projet est de renforcer l'aspect végétal du parc en l'incluant dans l'aménagement des nouveaux bâtiments tels que la piscine ou les nouvelles habitations. Une transition végétale séparera les différents terrains pour apporter un effet d'ouverture et de transparence sur le parc. Pour réaliser ces objectifs, le sol doit donc pouvoir accueillir de nouvelles plantations tout en conservant le caractère actuel du parc et la végétation existante.

Une analyse de sol a été réalisée pour diagnostiquer la qualité du sol actuel du Parc Tati et pour proposer, dans une démarche de réutilisation du sol en place, des améliorations et des apports pour accueillir la nouvelle végétation tout en limitant l'impact sur le parc.

### 3.3. L'analyse de sol du Parc Jacques Tati

L'analyse de sol du Parc Jacques Tati s'est faite par l'intermédiaire du laboratoire d'analyse Labosol. Avant tout prélèvement, le laboratoire transmet une fiche méthodologique pour réaliser les échantillonnages de sols (Annexe I). Ainsi, le prélèvement envoyé a été réalisé selon le protocole suivant :

Matériel (voir Figure 13):

- tarière
- seau
- balance
- règle
- sacs plastiques

**Figure 13 - Photographie du site de prélèvement des échantillons de sol Parc Jacques Tati (Porcher, 2024)**



Étapes de prélèvement :

La zone de prélèvement choisie pour les échantillons de sol est observable sur la Figure 14. Cette zone située entre la Garderie, la Poste et la Piscine est vouée à être totalement repensée à la suite de la destruction de ces bâtiments et la construction de nouveaux. De nouvelles plantations seront réalisées. Dans cette zone, des cuvettes correspondant à un espace de jeux pour les enfants, faites de béton et d'un revêtement artificiel dans le fond, seront supprimées. C'est donc l'une des zones du parc qui sera la plus impactée par le futur projet.



**Figure 14 - Photographie aérienne et localisation de la zone de prélèvement des échantillons de sol à analyser dans le Parc Jacques Tati (Alter Publique, ID-UP, Résonance U&P, TPFI, VIZEA, 2020)**

Une fois la zone choisie, les prélèvements se font à la tarière de façon aléatoire, cela signifie que les trous réalisés ne doivent pas suivre de schéma et ne doivent pas être alignés.

Chaque prélèvement se fait sur 20 cm de profondeur mesurés à la règle et mis dans un seau. Cinq prélèvements sont réalisés.

Le contenu du seau est mélangé de manière homogène et avec une balance, un sous-échantillon de 500 g de terre mélangée est prélevé et mis dans un sac plastique.

Le sac et son contenu sont ensuite envoyés au laboratoire d'analyse avec une fiche de renseignement . Cette fiche renseigne sur les conditions de prélèvement (20 cm), le type de culture présente (gazon), le type d'irrigation (absente), le motif de la demande et la prestation agronomique choisie (Annexe II).

L'analyse choisie est la T\_T1 correspondant à une analyse physique, organique, minéral avec également le dosage de 3 oligo-éléments (Fer, Cu, ZN). Les caractéristiques mesurées sont la CEC, l'état physique (granulométrie 5 fractions, IB, RFU), l'état d'acidité (pH eau, pH KCl, calcaires total et actif), l'état organique (Matières organiques, N organique, C/N, IAM) et l'état minéral (conductivité, P2O5, K2O, MgO, CaO, Fer, Cu, Zn).

La pollution n'est pas prise en compte dans ces analyses. Des analyses complémentaires sont donc à réaliser.

Également, un diagnostic botanique peut être réalisé pour déterminer s'il y a ou non des plantes invasives telles que la Renouée du Japon. Cette plante, malgré l'arrachage, a une forte capacité de bouturage même avec des fragments de plantes ce qui permet une forte recolonisation. En cas de présence de la plante, la solution classique des aménagements paysagers est de décaisser la terre jusqu'à la profondeur des racines et l'emmener en centrale pour être brûlée ou alors de l'enfouir sous bâche à 5 mètres de profondeur. Cependant, pour limiter les coûts de transport et le caractère invasif de ces techniques, il est possible de traiter la terre sur place mécaniquement par criblage et concassage. Les machines sont apportées sur place. Il faut séparer la terre aux grains supérieurs à 10 mm et celle aux grains inférieurs à 10 mm. Au-dessus de 10 mm, la terre est concassée avec les fragments de renouées qui réduits à moins de 10 mm sont considérés comme inoffensifs et ne peuvent repousser. La terre finale est réduite à un matériau de granulométrie inférieure à 10 mm et pourra être réutilisée.

Le Tableau 7 rapporte les résultats de l'analyse de sol, les teneurs souhaitables et le positionnement du sol par rapport à ces valeurs, les interprétations, les conseils et les commentaires transmis par le laboratoire Labosol.

Tableau 7 : Résultat des analyses des échantillons provenant du Parc Jacques Tati (Labosol, 2024)

LABOSOL ANALYSES ANONIMISÉES		RESONNANCE URBAINE ET PAYSAGE		N° 039_29 PARC		juillet 2024		N° 039_29 PARC		juillet 2024	
Menu T_T1	Eléments	Résultat	Teneurs souhaitables	Interprétations - conseils				Schématisation			
	CEC (meq/kg) (valeur de référence à minéral)	73,00	50 - 130	Faible capacité d'échange en minéraux. Fractionner les apports d'engrais ainsi que l'irrigation. Limite saturation par le calcium.				CEC Taux de saturation 50%			
Etat acidité	Saturation (%)	91,50	100	Acide. Amendement calcaire total de: 500 Kg CaO/ha. A répartir sur plusieurs années et à veiller si possible. Forte acidité de réserve. Risque de baisse de pH.				pH H <sup>+</sup>			
	pH eau	6,56	6,5 - 7,1	Non calcaire.				Etat organique Azote organique Matière organique = humus			
	pH KCl acidité de réserve	5,70	6,1 - 6,6	Non calcaire.				Etat minéral Ca, Mg, K, Na, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup>			
	Calcaire total (g/Kg)	0,00		Un peu faible. A redresser pour accroître le niveau d'humus.				Diagramme de fertilité Organique Acide Basique Minéral Physique			
Etat organique	Calcaire actif (g/Kg)	0,00		Pourvu.				Etat de fertilité			
	Matières organiques (g/Kg)	19,26	30 - 35	Evolution un peu rapide de la matière organique.				Plan de fertilisation Kg/ha soit 1500 T ou 1000 m3			
	Azote N organique (g/Kg)	1,32	0,93 - 1,40	Activité microbiote limitée.				Réserves ou Déficits Kg/ha			
	C/N (Corg / N org)	8,51	9 - 11	Faible disponibilité de minéraux dans la solution du sol.				Action annuelle de redressement ou de minoration en Kg/ha			
Etat minéral	IAM (Inventaire d'activité microbienne)	11	12 - 18	R = 0 Kg/ha. Bien pourvu.				Gazon d'ornement			
	Conductivité (mS/cm)	0,04	0,06 - 0,15	D = 60 Kg/ha. Limite basse.				Equilibre de fertilisation de la culture			
	Phosphore P205 Dyer (g/Kg)	0,15	0,12 - 0,15	D = 38 Kg/ha. Limite basse.				Besoin annuel de la culture Kg/ha			
	Potassium K2O (g/Kg)	0,11	0,13 - 0,17	Equilibré.				Plan 1 Kg/ha			
Etat oligos	Magnésium MgO (g/Kg)	0,09	0,10 - 0,13	R = 167 Kg/ha. Bien pourvu.				Arbre et arbuste			
	K2O/MgO	1,20	1,00 - 3,00	D = 480 Kg/ha. Limite basse.				Equilibre de fertilisation de la culture			
	Calcium CaO (g/Kg)	1,68	1,70 - 2,30	R = 61 Kg/ha. Fortement pourvu.				Besoin annuel de la culture Kg/ha			
	Fer (mg/Kg)	201,00	14 - 90	R = 12 Kg/ha. Bien pourvu.				Plan 2 Kg/ha			
Etat Physique	Cuivre (mg/Kg)	42,10	0,90 - 1,70	Refus gravier (% > 5 mm) = 10 / Refus gravier (% 2 à 5 mm) = 9				Massif vivace			
	Zinc (mg/Kg)	12,08	2,80 - 3,80	Calcul sur une profondeur de: 10 cm				Equilibre de fertilisation de la culture			
	Sables grossiers % de 200 µm à 2 mm	44,0		Sable-Argile				Besoin annuel de la culture Kg/ha			
	Sables fins % de 50 à 200 µm	11,0		Sable-Argile				Plan 3 Kg/ha			
Etat Physique	Limons grossiers % de 20 à 50 µm	7,0		Sable-Argile				Equilibre de fertilisation de la culture			
	Limons fins % de 2 à 20 µm	32,0		Sable-Argile				Besoin annuel de la culture Kg/ha			
Etat Physique	Argiles % < 2µm	6,0		Sable-Argile				Equilibre de fertilisation de la culture			
	Indice de balance	10,0	< 6	Annex le risque de balance est de 2				Besoin annuel de la culture Kg/ha			
Etat Physique	RFU/M2	13,23		Annex le risque de balance est de 2				Equilibre de fertilisation de la culture			

LABOSOL 450 route de Carillon 38270 Jarcieu TEL: 04 79 89 05/labosol@labosol.fr/www.labosol.fr

Le Responsable du Laboratoire

Selon les résultats de l'analyse, le sol est non calcaire. Le pH mesuré est acide et est à redresser. Le laboratoire propose de réaliser un amendement minéral basique de 500 kg CaO/ha à répartir sur plusieurs années et à enfouir. Il est important de fractionner les apports car le sol a une forte acidité de réserve et peut provoquer une nouvelle baisse de pH au bout de quelques temps après apports. Le taux de magnésium est également faible donc il est possible de se tourner vers un amendement minéral basique qui combine les deux tel que la dolomie  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . En effet, la dolomie est un minéral naturel utilisé en agriculture pour pallier un sol déficient en magnésium et/ou pour corriger des sols acides.

La matière organique dans ce sol est faible il est donc possible d'opter pour l'apport de compost ou de lombricompost qui sont les amendements organiques les plus efficaces et rapides. Le lombricompost a le bénéfice d'apporter une partie des organismes vivants dans le sol. En revanche, si l'option de lombricompost, plus onéreuse, est choisie, il faut opter pour la mise en place d'un système d'irrigation en goutte-à-goutte. De plus, le compost riche en potassium pourra compenser la faible teneur en potassium du sol.

Le rapport C/N est faible et le sol est pourvu en azote (N), cela montre que la matière organique évolue rapidement. L'ajout de compost riche en carbone (C) permettra d'augmenter le rapport C/N, de ralentir la décomposition de la matière organique et de la rendre disponible. L'utilisation de bois raméal fragmenté avec du compost au C/N équilibré peut aussi augmenter ce rapport C/N bas car le BRF est riche en carbone et a tendance à immobiliser l'azote la première année donc à diminuer le taux d'azote disponible. Cette immobilisation de l'azote n'est donc pas un problème dans le cas où il y a un excès d'azote par rapport au carbone. Le BRF étant un paillage, il permettra également de mieux structurer le sol en surface, de limiter les adventices et de maintenir un milieu humide pour les vers de terre du lombricompost. Cela peut permettre de diminuer le débit d'arrosage prévu.

Le redressement du pH, l'ajout de phosphore par le compost et de magnésium par la dolomie va permettre d'augmenter la conductivité du sol qui est un peu faible et va permettre une plus grande disponibilité des minéraux dans la solution du sol.

L'activité microbienne est limitée et cela peut être dû au rapport C/N bas. Ainsi son redressement avec l'apport de BRF et de compost ou lombricompost permettra de raviver l'activité microbienne. De nouvelles analyses de cette activité au bout d'un an peuvent permettre d'opter pour l'utilisation d'inocula microbiens si elle est encore faible.

Le fer, le cuivre et le zinc sont bien pourvus dans le sol. Il faut donc faire attention à ne pas choisir des plantes sensibles à ces éléments ou alors opter pour la phytoremédiation avec des plantes qui extraieront ces éléments du sol.

La texture est sablo-limoneuse et possède un fort risque de battance dû aux limons. Pour limiter ce risque il faut ajouter du sable grossier et/ou du compost et/ou faire un couvert de paillage. Le compost est déjà prévu à l'amélioration de ce sol et un paillage tel que BRF limitera la battance en surface. L'ajout de sable grossier dans les horizons plus en profondeur pourra donner un sol plus drainant.

En cas de pollution du sol prouvée par de futures analyses et en fonction du type de polluant, les techniques de bioventing ou la phytoremédiation sont des options à considérer.

En conclusion, le sol du Parc Jacques Tati a besoin d'apport de compost ou de lombricompost pour le manque de matière organique et de potassium. Le choix entre les deux dépend de la nécessité ou non de l'arrosage dans le projet et des coûts supplémentaires que cela implique. Le BRF pourra servir de paillage aux nombreux bénéfices (structure, rapport C/N, adventices,

humidité) et permettra de limiter les coûts d'arrosage avec le lombricompost. La dolomie, amendement minéral basique compensera les besoins en magnésium et le pH. Enfin, l'ajout de sables plus grossiers pour améliorer la texture permettra d'augmenter le drainage et de limiter la battance causée par les limons.

En plus des résultats d'analyse, Labosol propose des plans de fertilisation en fonction du type de plantation (gazon d'ornement, arbres et arbustes ou massifs de vivace). Ils caractérisent les besoins annuels en phosphore, potassium et magnésium et proposent des valeurs d'apport en kg/ha. Ces valeurs peuvent aider à prévoir les apports à réaliser en plus de l'amélioration du sol.

Dans tous les cas, une fois le sol amélioré, la palette végétale doit être réfléchiée en fonction des propriétés de ce sol, ainsi il ne faudra pas choisir des plantes aimant le calcaire pour le Parc Jacques Tati. Des plantes utilisées en phytoremédiation pourront également être ajoutées à la palette pour compenser les éléments en trop ou limiter la pollution qui pourrait exister.

Le projet du Parc Jacques Tati étant encore en cours de proposition, cette étude ne donne pas d'éléments chiffrés que ce soit de coût ou de quantité d'apport car cela dépend principalement de la quantité de sol à améliorer et donc du projet final. Cette étude propose une réflexion sur la démarche à suivre et les améliorations possibles. Des prélèvements supplémentaires permettant de déterminer l'épaisseur de sol utilisable seront à réaliser. Une étude financière pourra être établie une fois que l'ensemble des propriétés du sol seront analysées (pollution, plantes invasives, quantité de sol existant, quantité de sol nécessaire au projet).

## Conclusion

Le sol est un système ouvert, dynamique et vivant difficile à construire.

C'est ainsi une ressource épuisable et sa valorisation par l'utilisation du sol en place lors d'aménagements paysagers permet un recyclage de la matière première existante sans l'apport d'une terre végétale provenant d'un autre milieu.

Or, souvent lors d'aménagements paysagers, les commanditaires ont besoin ou attendent des résultats immédiats ce qui pousse à utiliser la terre végétale en grande quantité et donc à détruire des milieux agricoles agronomiquement riches.

En effet, les projets paysagers et leur réception sont souvent limités par un délai court entre 1 et 5 ans contre 10 ans pour obtenir un écosystème dynamique et résilient.

De plus, il ne faut pas oublier que travailler le sol est complexe et prend du temps. Il est important de prendre en compte tous les paramètres de la qualité d'un sol afin de travailler chaque horizon.

Ce mémoire propose de nombreuses solutions et techniques expérimentales pour valoriser et fertiliser un sol qui ont montré des résultats positifs dans leurs propres conditions. Cependant, en milieu urbain, ces techniques sont encore à l'état expérimental et trop peu de retours sur le long terme ont été publiés. En effet, chaque sol est très différent et a ses propres particularités qu'il faut savoir adapter. Sur le papier ces solutions semblent donc intéressantes mais il faudrait expérimenter sur le terrain, voir avec les professionnels du paysage ce qui est le plus simple à appliquer, le moins onéreux et le moins long en fonction de chaque projet.

Il faut également que le commanditaire soit prêt à expérimenter et à ce que cela prenne du temps.

La méthode proposée pour le parc Tati est une étude établie sur des arguments à valeur intellectuelle s'appuyant sur une analyse de sol réalisée et non sur la réalité complète du terrain. Des analyses complémentaires sont à réaliser comme la détection de pollutions, des plantes invasives ou encore une étude de prix. En effet, une étude financière pourrait être complémentaire à ce mémoire, le prix étant un facteur décisionnel dans les aménagements paysagers.

Actuellement, lors de projets paysagers, le sol est encore trop peu pris en compte. Il faut que celui-ci s'adapte au projet et non l'inverse. Ainsi, il faudrait également réfléchir le projet paysager afin de minimiser ses impacts et pour que la modification du sol ne soit pas systématisée. De même, trop souvent, la terre végétale est choisie pour répondre aux besoins de la palette végétale et non l'inverse. Pourtant des outils tels que des bases de données peuvent être utiles pour adapter la palette aux conditions existantes et au milieu. Ainsi, face à une augmentation des sécheresses en France, les palettes végétales sèches sont des alternatives à une mise en place d'un système d'arrosage et limitent le risque de pertes lors des plantations.

Enfin, avec les préoccupations environnementales actuelles, il est nécessaire de repenser l'ensemble des habitudes professionnelles dans le monde du paysage et de réfléchir le paysage en fonction de l'existant, des conditions environnementales et non seulement en fonction de ce qui est beau ou de ce qui se fait ailleurs. Le projet doit être adapté au sol et non l'inverse. Aujourd'hui, c'est au monde du paysage de faire l'effort de modifier ses pratiques, cela prendra du temps, l'expérimentation sera obligatoire, mais comme l'écrit Antoine de Saint-Exupéry dans Citadelle en 1948: "Dans la vie il n'y a pas de solutions. Il y a des forces en marche : il faut les créer et les solutions suivent."

## Bibliographie

AFNOR (mai 2002), *NF U44-551*.

Albu Mihaela, Behrens Sebastian, Borch Thomas, Conte Pellegrino, Dieguez-Alonso Alba, Elliott K. Wade, Hagemann Nikolas, Harter Johannes, Kammann Claudia I., Kappler Andreas, Joseph Stephen, Mayrhofer Claudia, McKenna Amy, Obst Martin, Orsetti Silvia, Schmidt Hans-Peter, Subdiaga Edisson, Taherymoosavi Saradat, Varga Krisztina, Young Robert B. (octobre 2017), *Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility*. Nature Communication.

Andresen Jeffrey, Cregg Bert, Dubelko Madeleine, Schutzki Robert (avril 2002), *Compost addition, but not tillage, affects establishment of urban highway planting*. Elsevier.

Baize D. (janvier 2010), *Chapitre 3 : Description des divers types d'agrégats et de la structuration des horizons non labourés*. ENS Lyon.

Beaugé Christophe, Bigot Denis, Brissinger Benoit, De Beaulieu Gilles, Gapillard Joël, Goujon Stéphanie, Gueneau Jean-Pierre, Nouillot Laurent, Oubrier Irène, Segur Frédéric, Sipan Jean-Marc, Striblen Olivier, Thevenin Pierre-Antoine (octobre 2021), *Fascicule 35 – Aménagements paysagers, aires de sports et de loisirs de plein air du cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux de génie civil*.

Benoît Loup (mai 2019), *Amélioration de la structure d'un sol compacté à l'aide de plantes restructurantes*. AgroFlash Agronomie Hepia.

Berthelin Jacques, Blanchart Eric, Lavelle Patrick, Richaume-Jolion Agnès, Grolleau Gilles, De Cara Stéphane (octobre 2010), *La vie cachée des sols*. ADEME.

Bertoldi Claudia (juin 2023), *Le charbon végétal, une solution d'avenir ?*. G'plus Romandie.

Borgarelli Tanguy, Caudron Elsa, Felten Maëva, Grand Cécile, Lemoine Guillaume, Luciol Léa, Maréchal Jeanne, Marié Xavier, Pennont Christophe et Thevenin Pierre-Antoine (octobre 2022), *Sols vivants, Alternatives à l'artificialisation des sols et réhabilitation des sols dégradés*. LPO.

Bourguignon Jacques, Lorec Amélie, Mathé Fabrice, Vavasseur Alain (juin 2016), *La phytoremédiation*. Les défis du CEA, N°208.

Boyer Gilles, Gaspard Myriam, Roudaut Jean-Philippe et al. (janvier 2011), *Guide des produits Organiques utilisables en Languedoc Roussillon, Tome 1, Chapitre 2 : Les matières organiques du sol*. Chambre d'Agriculture Languedoc-Roussillon.

Brewer Roy (1964), *Fabric and mineral analysis of soils*.

Brunstein Elodie (avril 2020), *La Bio-dynamisation des sols*. Solicaz.

Cabello Hurtado Francisco, El Amrani Abdelbak (juin 2009), *La phytoremédiation : une nouvelle stratégie qui vise à utiliser les plantes pour dépolluer l'environnement*. PHM - Revue Horticole N°514.

Gros Raphaël (mai 2004), *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*.

Grosbellet Claire, Marié Xavier, Muller Thierry, Rossignol Jean-Pierre, Ruaud Marie (décembre 2012), *Règles professionnelles, Travaux des sols, supports de paysage* ». N°P.C.1-RO.

Horticulture & PAYSAGE (juillet 2010), *Limiter le volume, pas le développement*.

Leroy Louison (octobre 2019), *Palette végétale : intégrer les sols construits et le milieu urbain, dans le contexte d'un projet expérimental mené par AGREGE*.

Logvenoff Ivan, Morin Carine (2011), *Gérer les espaces verts en faveur de la biodiversité*. Noé Conservation.

Masson J-C (février 2012), *Comprendre la formation et la fertilité des sols*.

Munroe Glenn (Janvier 2004), *Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme*.

Plante & Cité (mai 2013), *Effet de la terre de plantation sur la croissance racinaire*.

Saint-Exupéry Antoine (1948), *Citadelle*. Éditions Gallimard.

Terrestris, *Protocole Paillage vivant, Technique et intérêts*.

## Sitographie

AFES (2023), *Sols : définition et enjeux*.  
<https://www.afes.fr/les-sols/definition-et-enjeux/>

Bourgeois Maëva, Coquillart Elise, Cournarie Morgane, Fassino Claire, *Texture et travail du sol*.  
[https://www.supagro.fr/ress-pepites/sol/co/2\\_1\\_TextureSol.html](https://www.supagro.fr/ress-pepites/sol/co/2_1_TextureSol.html)

Bourrié Guilhem, Bruand Ary, Feller Christian, Julien Jean-Luc, Tessier Daniel et Van Oort Folkert (juin 2022), *Capacité d'échange cationique du sol*.  
[https://mots-agronomie.inra.fr/index.php/Capacit%C3%A9\\_d%27%C3%A9change\\_cationique\\_du\\_sol](https://mots-agronomie.inra.fr/index.php/Capacit%C3%A9_d%27%C3%A9change_cationique_du_sol)

Légifrance (décembre 2020), *Code de l'environnement, Article R541-8*.  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000042662931](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000042662931)

GIS Sol (août 2022), *La texture des sols*.  
<https://gissol.hub.inrae.fr/thematiques/diversite-et-proprietes-des-sols/la-texture-des-sols>

Ilex (janvier 2024), *Les communautés ectomycorhiziennes dans les sols urbains : du diagnostic moléculaire à l'aménagement urbain*.  
<https://www.ilex-paysages.com/les-communaut%C3%A9s-ectomycorhiziennes-dans-les-sols-urbains-du-diagnostic-mol%C3%A9culaire-%C3%A0-l%C3%A9m%C3%A9nagement-urbain/>

Lebeau (2017), *Bioremédiation in situ : le bioventing*. Nantes Université.

[https://uved.univ-nantes.fr/SOLS/3/co/module\\_GSP\\_Grain3\\_25.html](https://uved.univ-nantes.fr/SOLS/3/co/module_GSP_Grain3_25.html)

UNIFA, *La fertilité biologique*.

<https://fertilisation-edu.fr/le-sol/les-etats-de-la-fertilite/la-fertilite-biologique.html>

Vie publique (novembre 2023), *Zéro artificialisation nette (ZAN) : comment protéger les sols ?*

<https://www.vie-publique.fr/eclairage/287326-zero-artificialisation-nette-zan-comment-protoger-les-sols>

Vincent Vallès, INSEE (juin 2018), *374 000 logements supplémentaires chaque année entre 2010 et 2015, la vacance résidentielle s'accroît*.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/3572689>

## Entretiens téléphoniques

29 avril 2024 - Sophie Planchat, Chef de Centre chez Terideal.

24 mai 2024 - Aurélien Mondon, Conducteur de travaux chez Terideal.

5 juin 2024 - Justine Le Net, Référente technique agro-urbanisme chez AUREA.

L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers  Site de Rennes

<p>Année universitaire : 2023-2024 Spécialité : Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : Paysage : Opérationnalité et Projet (POP)</p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

## Valorisation du sol urbain en place pour plantations lors d'aménagements paysagers

Par : Chloé PORCHER

### ANNEXES

**Soutenu à Angers le 26 septembre 2024 à 9h**

**Devant le jury composé de :**

Président : DAVODEAU Hervé

Maître de stage : ADAM Aurélien

Enseignant référent : PLOTTU Béatrice

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

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



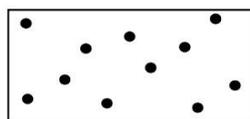
## Annexe I : Fiche méthodologique “Réaliser le prélèvement” et “Remplir la feuille de renseignement” (Labosol, 2012)



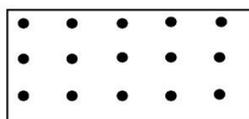
### Réaliser le prélèvement

La représentativité du résultat d'analyse dépend uniquement de la qualité de l'échantillonnage

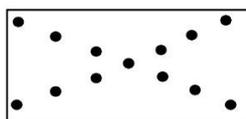
Pour remplir le sac de terre: Faire de façon aléatoire de nombreux prélèvements avec une tarière ou une bêche sur une profondeur d'enracinement et mettre dans un seau. Mélanger de façon homogène puis prélever un sous-échantillon de 500g de terre .



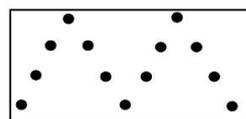
Aléatoire



Quadrillage



Diagonale



Zigzag

### Remplir la feuille de renseignement

C'est une étape très importante car elle constitue le bon de commande de l'analyse, la qualité de la traçabilité et la pertinence de l'interprétation agronomique.

Nom de l'échantillon : Doit être le même que celui inscrit sur le sac.

Conditions de prélèvement : Profondeur, humidité...

Type de culture ou utilisation : Mettre la culture précédente et celle actuelle ( légumes, arboriculture, arbres d'ornement , gazon...ainsi que le mode de culture (plein champs, sous serre, en pot...).

Type d'irrigation : goutte à goutte, aspersion...

Derniers apports : Date, équilibre en engrais NPK et quantité en kg/ha ou g/m<sup>2</sup>, amendements. Les habitudes de cultures.

Motif de la demande (important pour le conseil agronomique) : problèmes à résoudre, symptômes (rendement, croissance, carence...), objectifs précis, quel type de conseils, remarques diverses.



## Annexe II : Fiche de renseignement pour l'analyse de sol (Labosol, 2023)



# Fiche de renseignements - Analyse de sol

Adresse de Livraison des résultats:

Entreprise : .....

Nom: .....

Prénom: .....

Adresse: .....

CP: .....

Ville: .....

Tel: .....

Email: .....

Adresse de Facturation: (si différente)

Entreprise : .....

Nom: .....

Prénom: .....

Adresse: .....

CP: .....

Ville: .....

Tel: .....

Email: .....

Identité de la parcelle à analyser:

Nom de la parcelle ou échantillon : .....

.....

Surface du Terrain : .....

Profondeur de prélèvement:.....

Date d'envoi:

Domaine d'activité:

Culture:

Objectifs:

**En l'absence de bon de commande officiel, cette fiche de renseignements dûment complétée vaut bon de commande. Veuillez choisir votre ou vos menu(s) d'analyse parmi ceux présents ci-dessous.**

code menu	<b>Sol - Analyses Physico-Chimiques</b>	A cocher	code menu	<b>Sol - Tests physiques</b>	A cocher
T_T1	CEC + <b>Etat physique</b> (granulométrie 5 fractions) + <b>Etat acido-basique</b> (pH eau, pH KCl, calcaires total et actif) + <b>Etat organique</b> (Matières organiques, N organique, C/N, IAM) + <b>Etat minéral</b> (conductivité, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, CaO, Fer, Cu, Zn)		T_Sable	<b>Critères généraux</b> : pH eau, calcaires total, densité apparente <b>Comportement à l'eau et risque de tassement</b> : Porosité totale, porosité de drainage, capillarité + Perméabilité + Angularité du sable (forme du grain). <b>Etat physique</b> : Granulométrie 13 fractions + D10 + D30 + D50 + D60 + D90 + Coefficient d'uniformité et de courbure	
T_T2	CEC + <b>Etat acido-basique</b> (pH eau, pH KCl, calcaires total et actif) + <b>Etat organique</b> (Matières organiques, N organique, C/N, IAM) + <b>Etat minéral</b> (conductivité, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, CaO, Na <sub>2</sub> O, Fer, Cu, Zn, Mn, B + Cl)		T_Phys_1	<b>Etat physique</b> (granulométrie 15 fractions, IB, RFU) + <b>Etat organique</b> (Matières organiques) + <b>Comportement à l'eau et risque de tassement</b> : Porosité totale, porosité de drainage, capillarité + Perméabilité + 1 simulation d'apport en sable afin d'améliorer la perméabilité.	
T_T2p	CEC + <b>Etat acido-basique</b> (pH eau, pH KCl, calcaires total et actif) + <b>Etat organique</b> (Matières organiques, N organique, C/N, IAM) + <b>Etat minéral</b> (conductivité, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, CaO, Fer, Cu, Zn)		T_Phys_2	<b>Etat physique</b> (granulométrie 5 fractions + refus) + <b>Comportement à l'eau et risque de tassement</b> : Porosité totale, porosité de drainage, capillarité + Perméabilité.	
T_T3	CEC + <b>Etat acido-basique</b> (pH eau, pH KCl, calcaires total et actif) + <b>Etat organique</b> (Matières organiques, N organique, C/N, IAM) + <b>Etat minéral</b> (conductivité, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, CaO).		T_Phys_3	<b>Comportement à l'eau et risque de tassement</b> : Porosité totale, porosité de drainage, capillarité + Perméabilité.	
T_T4	CEC + <b>Etat physique</b> (granulométrie 5 fractions) + <b>Etat acido-basique</b> (pH eau, pH KCl, calcaires total et actif) + <b>Etat organique</b> (Matières organiques, N organique, C/N, IAM)		T_G15	<b>Etat physique</b> (granulométrie 15 fractions)	
T_Te	CEC + <b>Etat acido-basique</b> (pH eau) + <b>Etat organique</b> (Matières organiques) + <b>Etat minéral</b> (conductivité, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, CaO).		T_G5	<b>Etat physique</b> (granulométrie 5 fractions)	
T_FMO	<b>Etat physique</b> (granulométrie 5 fractions) + <b>Etat organique global</b> (Matières organiques, N organique, C/N, IAM) + 2 Fractionnements état organique (>50 µm, <50 µm)		T_Atterberg	<b>Limites d'Atterberg</b> : Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande + Limite de plasticité au rouleau pour caractériser les argiles.	
code menu	<b>Sol - Contrôle qualité</b>	A cocher	T_pF	<b>Capacité de rétention en eau d'un sol</b> à : pF1 / pF2,5 / pF4,2. De la capacité de rétention d'un sol au point de flétrissement.	
T_RA	Humidité, Reliquats azotés (N NO3 et N NH4)		<b>Remarques particulières:</b>		
T_CRESSON	<b>Test du Cresson :</b> Test d'aptitude agronomique d'une terre + pH eau + Conductivité + appréciation de la texture : Clichés photos, conclusions sur les risques de pollutions et la fertilité globale.				
code menu	<b>Sol - Compost</b>	A cocher			
C_AS	<b>Compost :</b> Matière sèche, Matière organiques, pH, conductivité, Azote total, C/N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, CaO, MgO.				

	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Paysage : Opérationnalité et Projet (POP) Enseignant référent : Béatrice PLOTTU
Auteur(s) : Chloé PORCHER  Date de naissance* : 11 juillet 2001	Organisme d'accueil : Résonance U&P Adresse : 2 rue Camille Claudel 49 000 Ecoflant
Nb pages : 38                      Annexe(s) : 2	Maître de stage : Aurélien ADAM
Année de soutenance : 2024	
Titre français : Valorisation du sol urbain en place pour plantations lors d'aménagements paysagers	
Titre anglais : Upgrading existing urban soil for planting in landscaping projects	
Résumé (1600 caractères maximum) :  Face à l'étalement urbain en forte progression ces dernières décennies, l'enjeu est maintenant de préserver les sols agricoles et naturels et de limiter leur grignotage. Pour cela, le sol urbain inutilisé est maintenant une cible pour les aménageurs. Que ce soient les friches industrielles ou les dents creuses, l'objectif est de construire dans ces zones inutilisées pour limiter l'étalement urbain. Cependant le sol urbain est généralement un sol à fortes lacunes agronomiques et est parfois inutilisable pour les plantations. Il est donc nécessaire de comprendre le fonctionnement du sol, ses propriétés et ses besoins pour déterminer les facteurs limitant des plantations. Puis, une fois les besoins établis, il faut rechercher des solutions. La première solution pour avoir un sol agronomiquement viable serait d'importer de la terre végétale. Cependant, l'idée s'installe progressivement dans les esprits du paysage d'utiliser et de valoriser le sol en place en réalisant des apports ciblés. Cela permet de limiter la destruction d'un milieu et le gaspillage d'une ressource rare. Afin de pallier les manques agronomiques, cette étude présente des solutions variées impactant les différents besoins du sol que ce soit la fertilité chimique, la fertilité biologique ou la fertilité physique du sol. Les analyses de sols sont obligatoires pour déterminer les propriétés du sol en place et en fonction de leurs résultats un plan d'amélioration peut être établi. C'est ce qui est proposé avec l'étude de cas du Parc Jacques Tati pour valoriser le sol existant.	
Abstract (1600 caractères maximum):  Facing urban spread with strong progression this previous decades, the challenge now is to preserve agricultural and natural soils and limit their encroachment. To achieve this, unused urban land is now a target for planners. Whether it's brownfield sites or vacant lots, the goal is to build in these unused areas to limit urban spread. However, urban soils generally have significant agronomic deficiencies and are sometimes unusable for planting. It is therefore necessary to understand how the soil works, its properties and its needs, in order to determine the limiting factors for planting. Then, once these needs have been established, it's time to look for solutions. The first solution for an agronomically viable soil would be to import topsoil. However, the idea is gradually gaining ground in the landscape community of using and enhancing existing soil by making targeted intakes. This limits the destruction of an environment and the waste of a rare resource. In order to compensate for agronomic deficiencies, this study presents various solutions impacting the soil's different needs, whether it is chemical, biological or physical fertility. Soil analyses are required to determine the properties of the existing soil, and based on the results, an improvement plan can be established. This is what is proposed in the case study of the Parc Jacques Tati to enhance the existing soil.	
Mots-clés : Valorisation, Urbain, Sol en place, Analyses de sol, Fertilité, Terre végétale Key Words: Valorization, Urban, Soil in place, Soil analyses, Fertility, Topsoil	

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