

QUELS SOLS POUR LA RENATURATION EN VILLE? COMMENT FAIRE ?

14 Mars 2023

ATELIER D'ÉCOLOGIE URBAINE
Jean-Louis DUCREUX



PREAMBULE

Renaturer la Ville implique en grande partie une disponibilité en pleine terre .

En ville, la pleine terre est un sol « urbain » (anthroposol) , remanié, déstructuré ou pollué.

La solution d'un apport extérieur de « terre végétale » n'est plus la solution avec les objectifs de zéro artificialisation nette.

D'où la nécessité de réfléchir à des filières alternatives incluant des sols construits (technosols), des sols restaurés ou régénérés.



• Source AEU, *les Champs (Elysées)*, Mai 2010)

Comment faire avec les contraintes d'un sol urbain ?

Etape 1: connaitre pour agir – L'état des lieux : le temps des diagnostics :

- Fouille pédologique;
- batterie d'analyses ;
- conclusions sur la qualité des sols et les préconisations selon l'étape 2.



Source AEU, ZAC Haute Deûle, SORELI MO, (Décembre 2019)

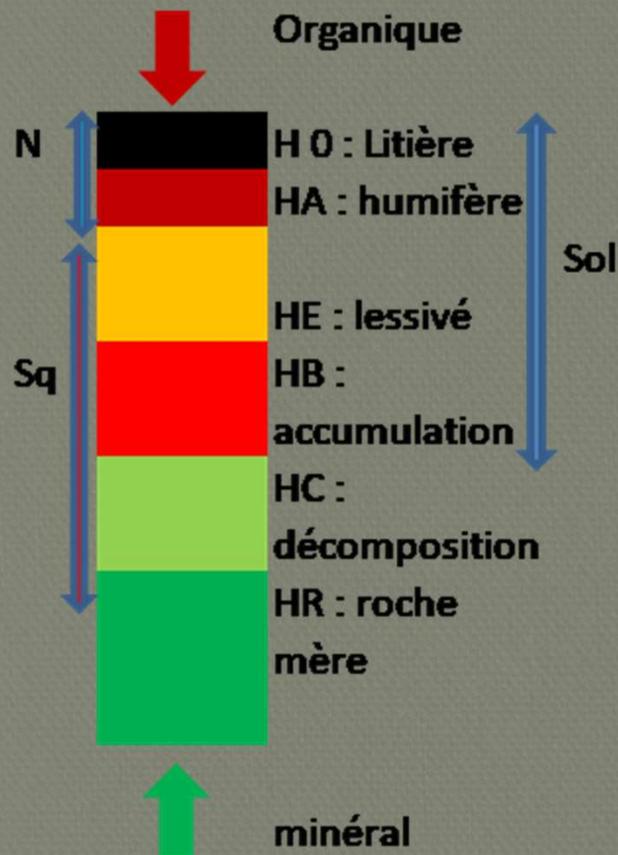
Etape 2 : entreprendre en fonction des besoins et des contraintes – Préciser les itinéraires techniques envisageables :

- Identifier les besoins du projet (récréatif, nourricier, biodiversité, topographie...)
- cerner les contraintes, notamment sanitaires ou écotoxiques;
- définir les solutions techniques en fonction des besoins et de la palette végétale.



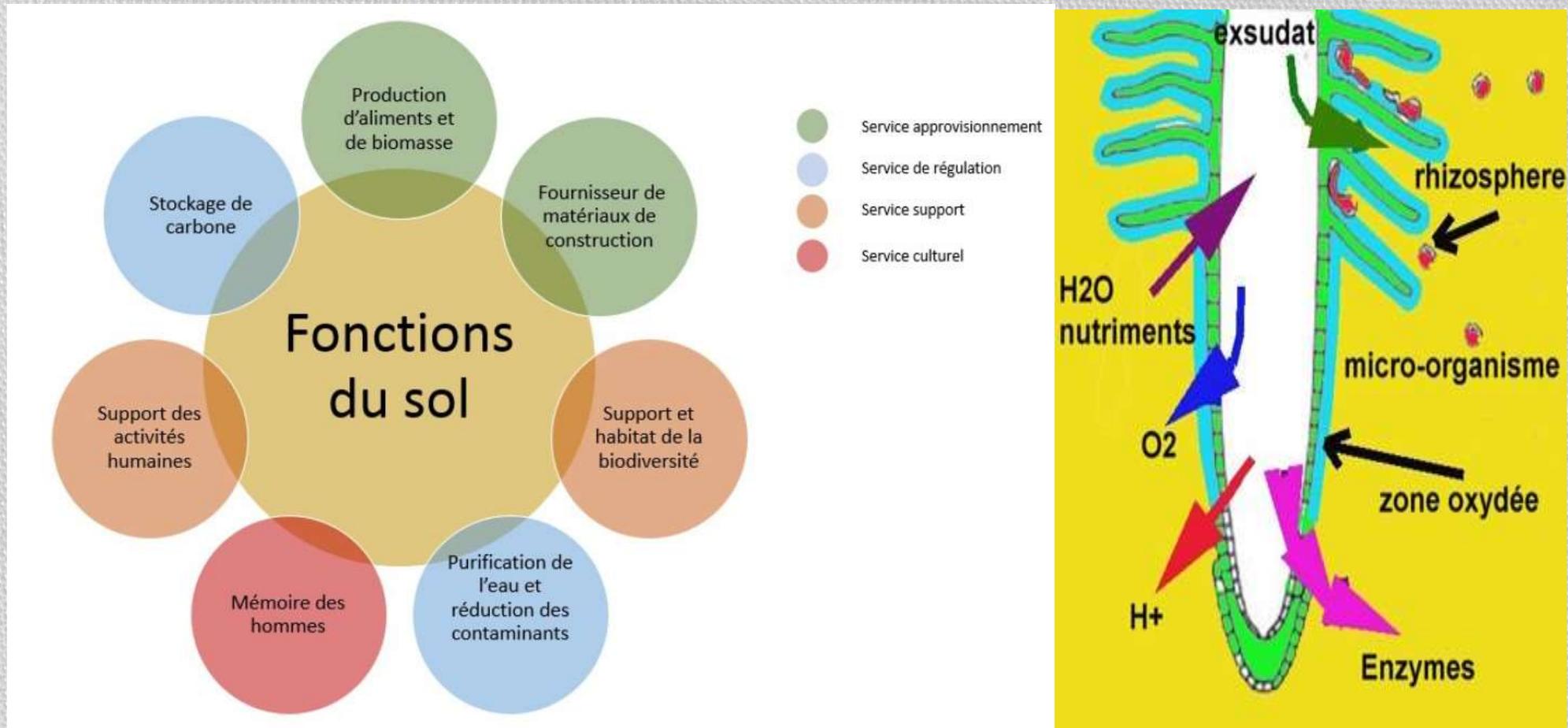
Source AEU, Jardin des Géants, Lille, Plantation 2007) MUTABILIS mandataire

DEFINITION D'UN SOL



- Partie supérieure de la lithosphère (couches géologiques), meuble, organisée en profil, avec une fonction de support en terme de portance et de végétalisation.
- L'interface entre lithosphère et atmosphère; porte la biosphère terrestre;
- Se forme naturellement par la pédogénèse : dégradation physico-chimique du substratum géologique (fraction minérale) et par les apports des végétaux et/ou des animaux (fraction organique).
- Demande une temporalité longue (1 cm à 1 dm par siècle) : les sols naturels actuels ont environ au maximum 12 000 ans (fin de la période glaciaire).
- Le sol est un écosystème à part entière (rhizosphère) doté aussi de fonctions ressources et de régulation notamment.
- Le sol est une ressource peu renouvelable.

Le sol : un écosystème multifonctionnel avec une usine complexe - la rhizosphère.

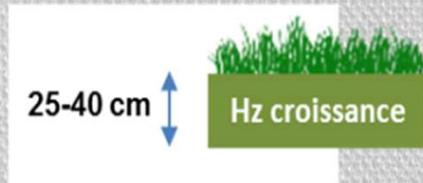


Source CEREMA

Qu'est ce qu'un sol fertile ?

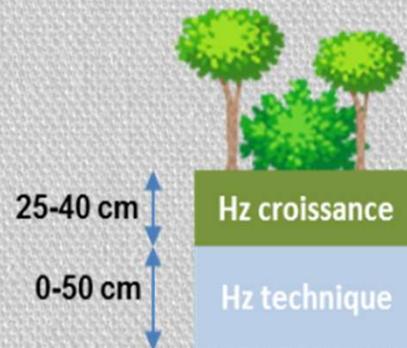
- **Trois propriétés:**
- **-1. Fertilité chimique :** teneurs en matières organiques, éléments majeurs et oligoéléments, pH, biodisponibilité , tout en rappelant que la biomasse végétale est à 90% d'origine photosynthétique;
- **2. Fertilité physique :** profondeur du sol, porosité, perméabilité, capacité de rétention en eau ;
- **3. Fertilité biologique :** richesse en bactérie et champignons au niveau de la rhizosphère (symbiose racine/microorganisme).
- **A l'inverse, il existe des inhibiteurs liés à la pollution.**
- **Deux fonctions essentielles:**
- **1. Nourricière dans l'horizon d'expansion des racines (30 premiers centimètres notamment):**
- **2. Mécanique ou support dans l'horizon sous-jacent dit squelette.**
- **Avec une innocuité sanitaire et environnementale.**

L'ÉPAISSEUR D'UN SOL ORIENTE LES STRATES



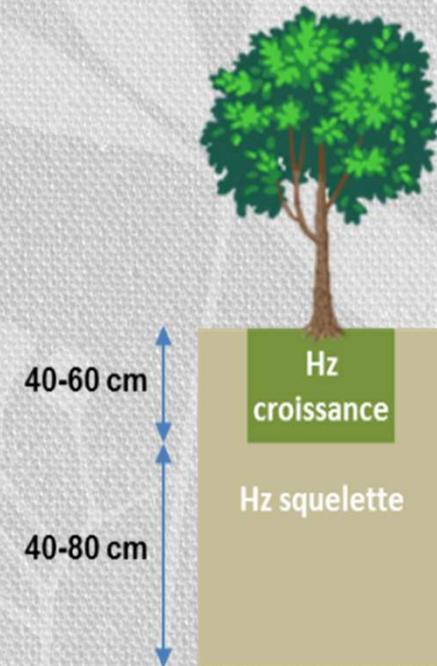
Accompagnement de voirie

Tramway
Toiture terrasse extensive



Square et parc

Accompagnement de bâtiment
Toiture terrasse intensive
Jardins vivriers
Agriculture urbaine



Arbres d'alignement

• Source SITERRE

- Les paramètres physico-chimiques conditionnent les alliances végétales : calcicoles, xériques ou acidophiles, hygrophiles.

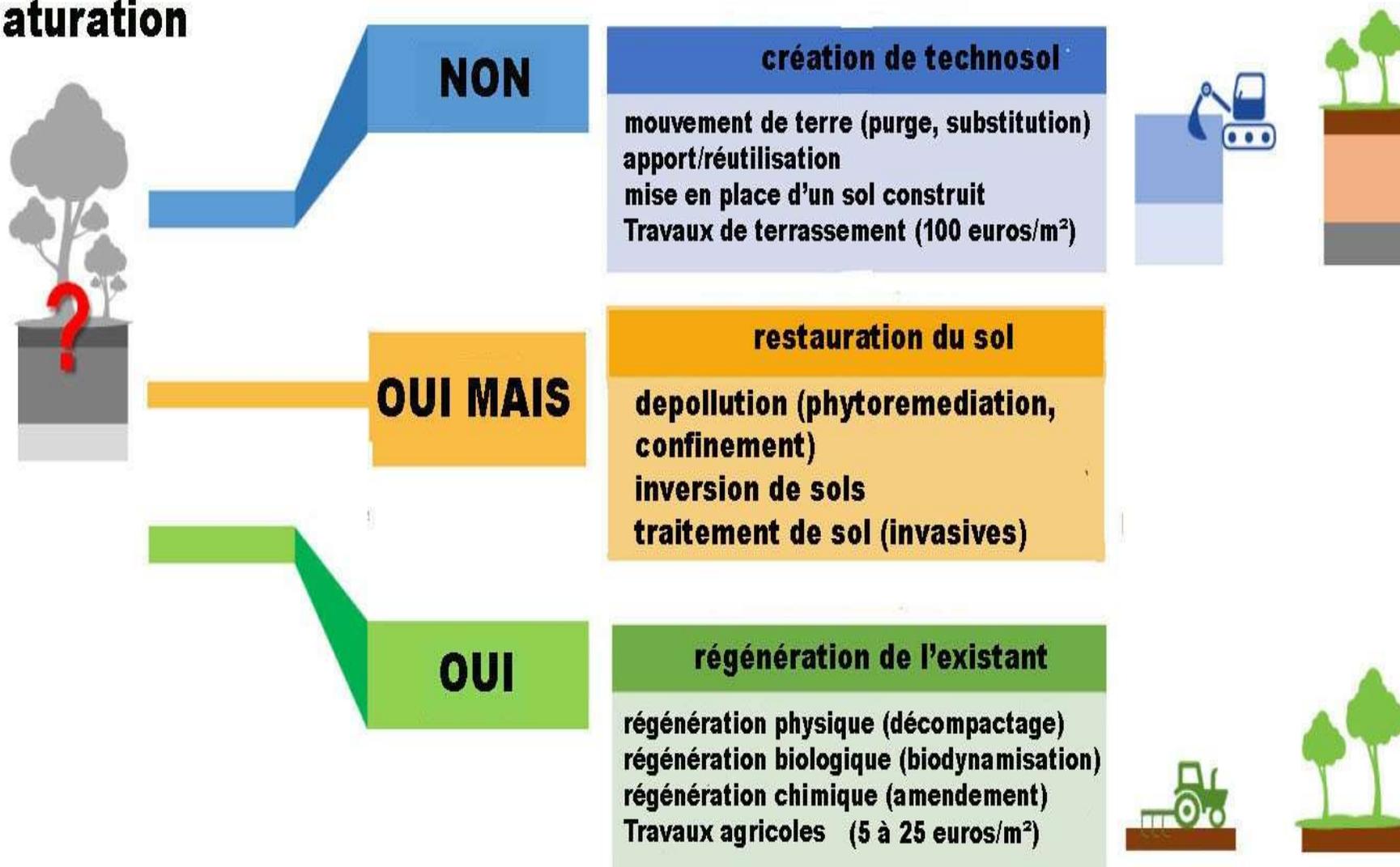
LES CAS SUSCEPTIBLES DE SE PRESENTER

Régénération
Restauration
Création



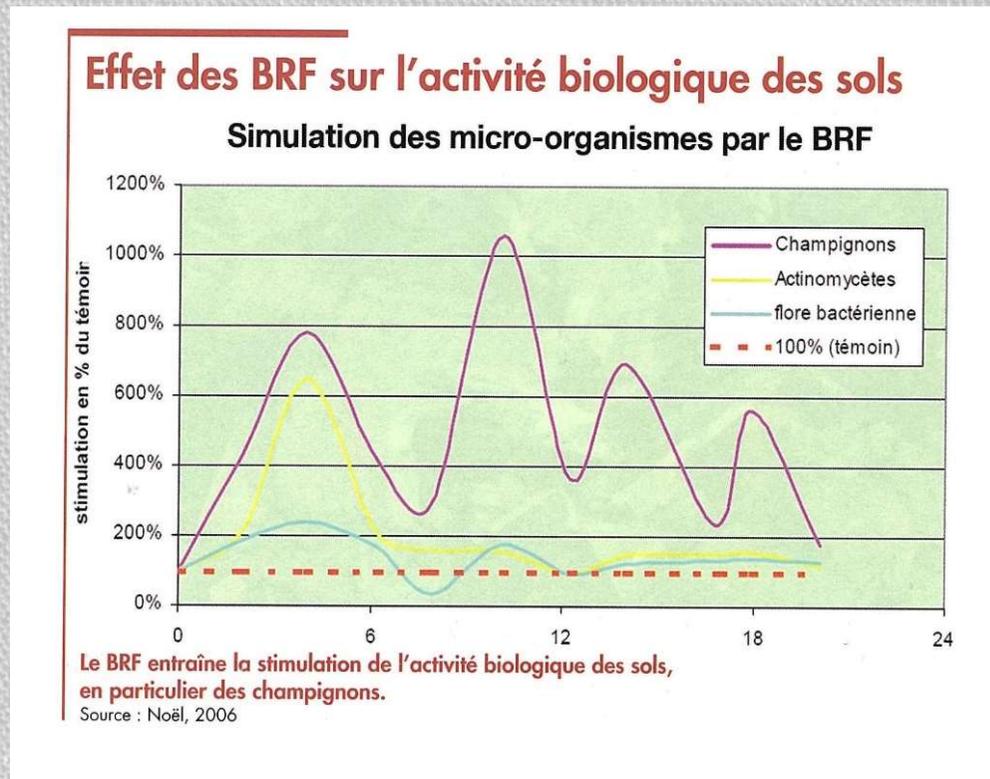
Le sol en place est-il compatible avec le projet de renaturation

• Source ADEME, modifié



Régénération biologique par bio dynamisation

- Le contenu microbiologique d'un sol assure la fertilité biologique;
- Un sol fertile c'est $2 \cdot 10^9$ microorganismes / cm^3 ;
- A 10^3 : le sol est mort et seule la fertilité chimique assure la croissance végétale;
- D'où l'idée de réintroduire de la fertilité biologique soit par inoculation directe, soit par ajout de matières riches en microorganismes (algues, compost, BRF);
- 50 tonnes/ha de BRF multiplie par 10 la charge en champignons.

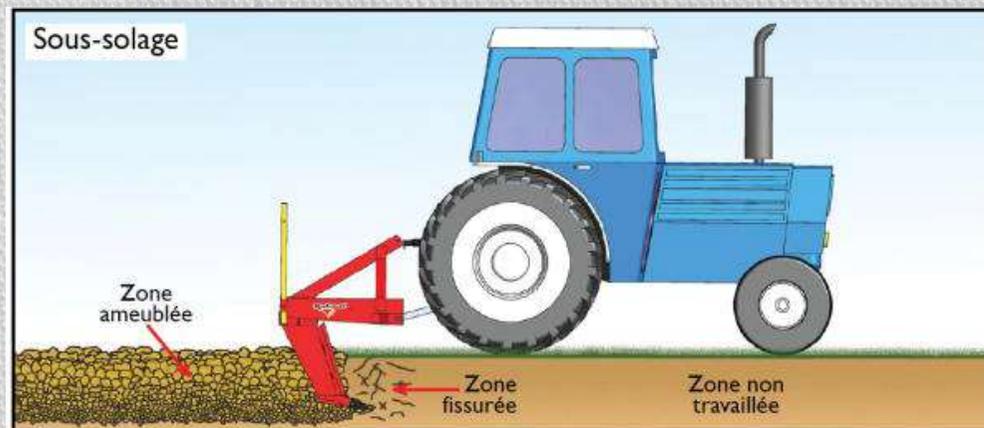


- Source CULTIVAR, n°89, 2018

Régénération physique par décompactage ou amendement granulométrique

Cas des sols tassés : déstructuration à la défonceuse ou à la sous-soleuse.

Cas des sols peu perméables : ajout et mélange avec un amendement sableux



LES BESOINS EN ANALYSES

Les analyses agro-
pédologiques de
base

Les analyses
normatives

Les analyses
environnementales
complémentaires

Tableau 7. Exemples de valeurs des paramètres physico-chimiques d'une terre fertile d'apport sur un chantier

Paramètres	Valeurs
Teneur en éléments grossiers (> 2 mm) <ul style="list-style-type: none">• Teneur en graviers (2 à 20 mm)• Teneur en cailloux (de 2 à 7,5 cm)	< 10 et 20 % < 10 % < 10 %
Teneur en argiles	Entre 10 et 20 %
Teneur en limons	Entre 30 et 50 %
Teneur totale en sables	Entre 30 et 60 %
Teneur en matière organique (cf. § 2.11.17) : <ul style="list-style-type: none">• pour un horizon de surface• pour un horizon de sous-face	<ul style="list-style-type: none">• Entre 2,5 et 5 % (après dégradation des amendements)• Entre 1 et 2,5 % (sans amendement)
pH_{eau}	Entre 6,5 et 8,5
Teneur en P_2O_5 , K_2O , MgO	> 0,1-0,2 g/kg
Teneurs en oligo-éléments	Voir tableau suivant
Teneurs en polluants	Respect des seuils des normes

Les analyses normatives : contrat entre le fournisseur de substrat et le maitre d'ouvrage

- La fourniture rentre dans un cadre justifié par des analyses conformes à la norme et rassure ainsi le Maitre d'ouvrage et les usagers. Le respect de la Norme est obligatoire en cas de vente de support de culture.
- Produit normalisé : support de culture ou terre végétale = terre ressource de la règle professionnelle

TABLEAU 1 - Volume produit ≤ 20 000 m³

TYPE D'ANALYSE/CONTRÔLES ANALYTIQUES	Fréquence minimale <u>imposée</u> par la norme	Fréquence minimale <u>conseillée</u> par AUREA
Matière sèche	A la création	1/an
Matière organique	A la création	1/an
Conductivité	Chaque fabrication	Chaque fabrication
Capacité de rétention en eau à pF 2 et 4.2	1/an	1/an
pH	Chaque fabrication	Chaque fabrication
Granulométrie 5 fractions (argile, limon, sable, calcaire)	1/an	1/an
Eléments grossiers (refus à 2 et 10 mm)	1/an	1/an
Eléments traces métalliques (Cd,Cr,Cu,Hg,Ni,Pb,Zn)	1/an	1/an
Valeur agronomique (azote total, rapport C/N, phosphore échangeable, bases échangeables (K ₂ O, CaO, MgO), Capacité d'échange cationique (Metson))	-	-
Pathogènes (Salmonelle, Listéria)	1/an	1/an
Micro-organismes (Escherichia coli, Entérocoques, Clostridium perfringens, Œufs d'helminthes viables)	-	-

- Source <https://www.aurea.eu/les-analyses-de-terre-vegetale-nf-u-44-551-a4/>

Les analyses environnementales complémentaires : cas de secteur sensible

- S'assurer que les déchets anthropiques incorporés sont inertes : analyses conformes à l'arrêté du 12/12/2014;
- Si nécessaire vérifier les teneurs en micropolluants (ETM : éléments traces métalliques) ou autres (produits phytosanitaires...) car les Normes NFU 44 551 ou NFU 051 ont des valeurs seuils « agricoles » au delà des recommandations des Agences de Santé.

En mg/kg MS	ANNEXE C NORME 44 551	NORME 44 051	BAIZE Sol naturel	BAIZE , seuils d'alerte IDF	Arrêté du 12/12/2014	UPDS 2007
Arsenic, As		18	1-25			
Cadmium, Cd	2	3	0,05-0,45	0,51		
Chrome total, Cr	150	120	10-90	65,2		
Cuivre, Cu	100	600	2-20	28		
Mercure, Hg	1	2	0,02-0,10	0,32		
Nickel, Ni	50	60	2-60	31,2		
Plomb, Pb	100	180	9-50	53,7		
Zinc, Zn	300	600	10-100	88		
Antimoine, Sb						
Sélénium, Se		12				
Baryum, Ba						
Somme HAP					50	
Fluoranthène		4				
Benzo (b) fluoranthène		2,5				0,7
Benzo (a) pyrène		1,5				0,1

MISE EN PRATIQUE AU TRAVERS DE QUELQUES EXEMPLES

Cas n°1 : Ne rien faire
ou presque : méthode
dite de Myawaki ou
méthode hollandaise.
Exemple

- Ancienne gare de la
Déportation à
Bobigny
- (OKRA, AEU)
- ZAC de la HAUTE
DEULE à Lille
(BRUEL DELMAR,
AEU)

- Principe : planter directement à haute densité (semis, baliveau) dans un sol urbain pour que le sol se régénère naturellement à terme;
- Apport limité de compost ou BRF pour initier le processus de pédogénèse et booster la fertilité biologique;
- Nécessite un Plan de Gestion Différenciée et des adaptations si les sols sont pollués;
- Ilot de biodiversité si > 200 m² ; alliances pionnières (saule, érable, merisier..).



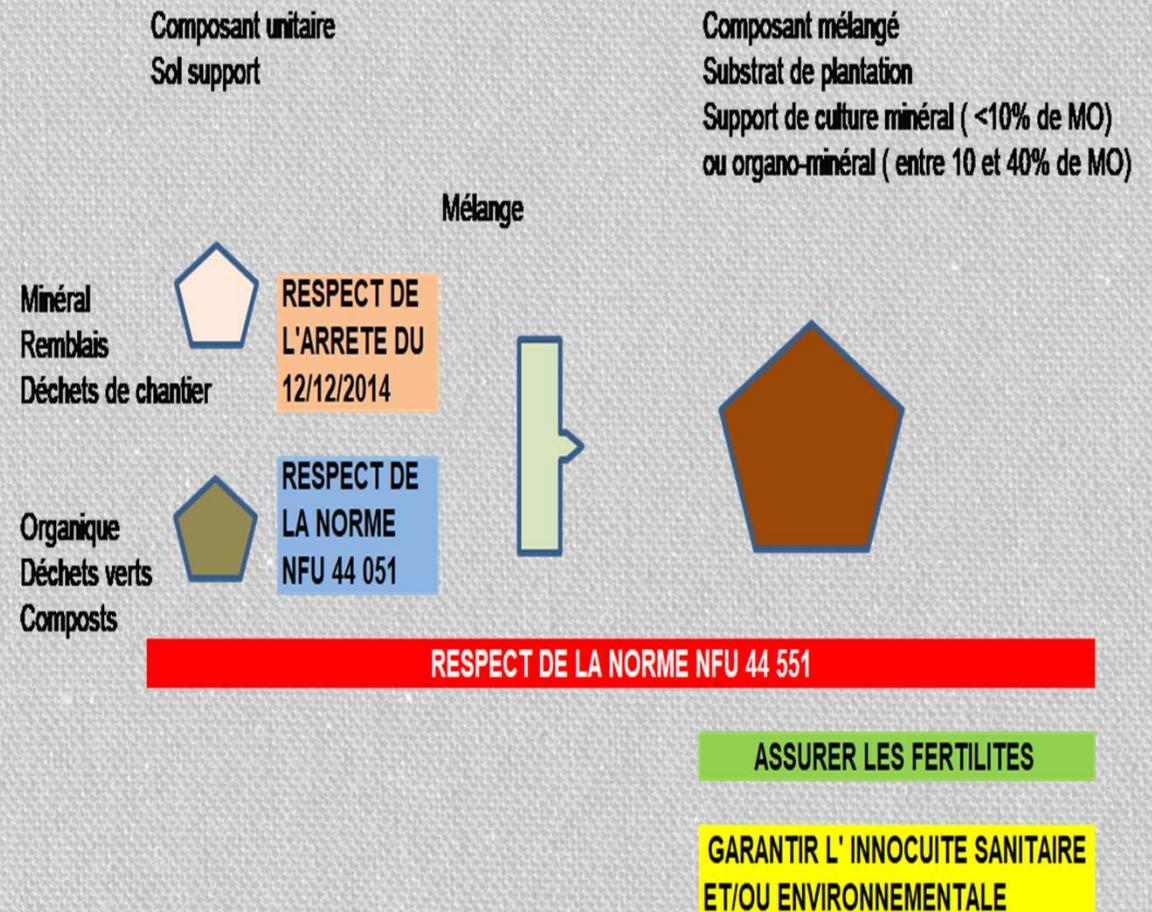
• Source AEU, La Deûle, BRUEL
DELMAR Paysagiste

Cas n°2 : création de technosols : au moins 20% des composants sont d'origine anthropique

Le principe : élaborer et mettre en place un sol fonctionnel.

- La recherche de la recette à partir de composants unitaires ;
- Le recours aux analyses;
- L'intégration de déchets locaux; (économie circulaire);
- L'adaptation de la recette aux besoins : sols fins ou des sols grossiers en cas de Mélange Terre Pierre (MTP);
- En monocouche homogène ou en multicouche différenciée distinguant les fonctions nourricières et squelettes (support).

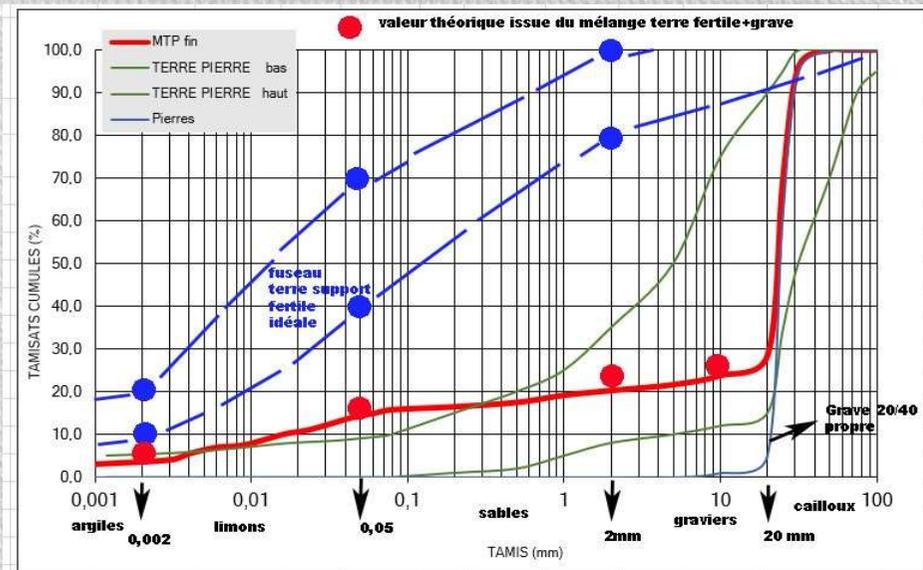
L'itinéraire technique



Les technosols : les types

Sols fins. La texture oriente la capacité de rétention en eau.

Mélange terre-pierre : la fonction première est le support avec la portance (2/3 de sols graveleux et 1/3 de sols fins). Essais géotechniques en plus.



• Source SITERRE

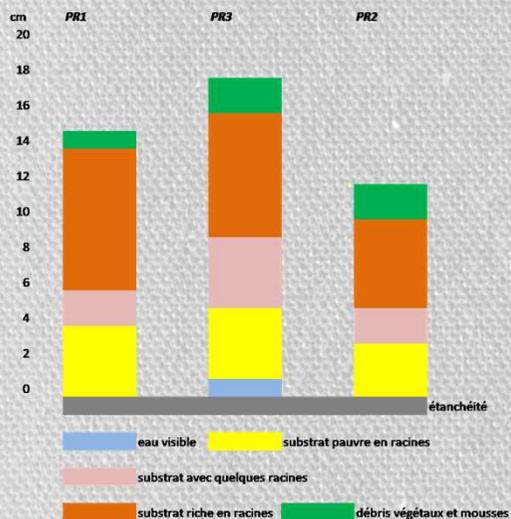
Les retours d'expérience

- Les technosols évoluent ce qui nécessite un suivi pour apporter des corrections:
 - - tassement , d'où perte de porosité et de perméabilité ;
 - - perte élémentaire (oligo-éléments, MO) , modification du pH (+);
 - - augmentation des micropolluants atmosphériques (ETM notamment);
 - -évolution verticale assez rapide avec la mise en place d'une strate muscinale.

Exemples de technosols surtout raccordés aux plantations sur dalle.

Technosols fins peu épais: Aqueduc de la Vanne (Eaux de Paris MO, AEU/ RAZEL/VALEUR ENVIRONNEMENT)

Ecole de la Biodiversité à Boulogne -92- (CHARTIER DALIX Architectes, AEU).

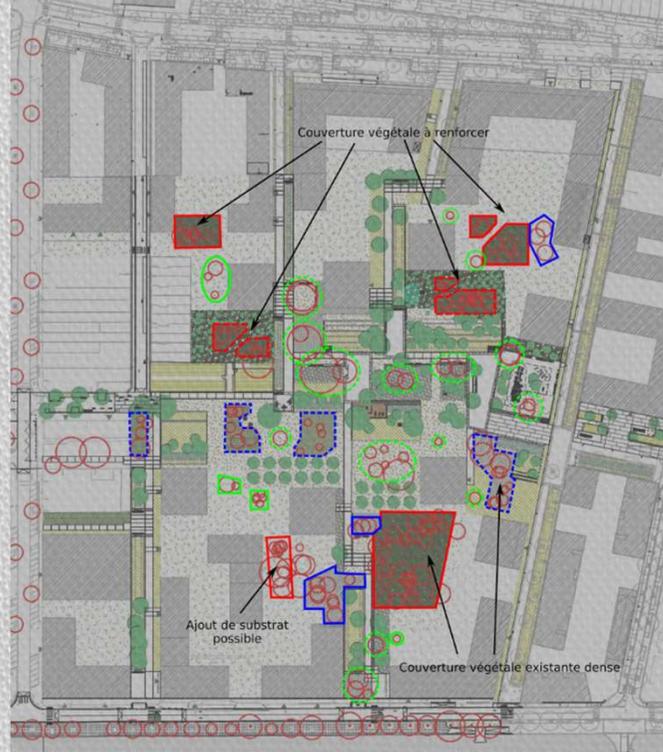


LE CAS DE LA GESTION DES SOLS POLLUES

Les sols urbains sont fréquemment pollués soit de manière diffuse, soit avec des sources concentrées. Les stratégies d'approche sont multiples mais doivent être validées par un Plan de Gestion d'un site et sols pollués adapté aux usages et aux risques:

- Analyse des conflits biodiversité/usage et PG;
- Extraction des sources concentrées;
- Confinement des sources diffuses par nappage ;
- Phytoremédiation in situ ;
- Servitude d'usage : mise en défend.

ZAC Haute Deûle



Zones de conservation écologiques

Potentiel conflit entre la conservation des espaces et la qualité des sols superficiels

- Îlot de biodiversité non accessible sur espace privé
- Îlot de biodiversité non accessible sur espace public
- Îlot de biodiversité accessible sur espace public
- Îlot de biodiversité accessible sur espace public
- Groupement ou arbre isolé sur espace privé
- Groupement ou arbre isolé sur espace public

Usages spécifiques

Aménagements engendrant des usages sensibles ou pouvant favoriser des voies de transfert

- Plantation de végétaux comestibles (jardins potagers et verger)
- Aire de jeux pour enfants
- Ouvrage ou portion d'ouvrage de gestion des eaux pluviales infiltrant

Source AEU/Bruel



Source AEU , Carrière sous Poissy, Agence TER mandataire

LE CAS DE LA GESTION DES SOLS CONTAMINÉS PAR DES INVASIVES

Les sols urbains sont souvent contaminés par des invasives agressives comme la Renouée du Japon;

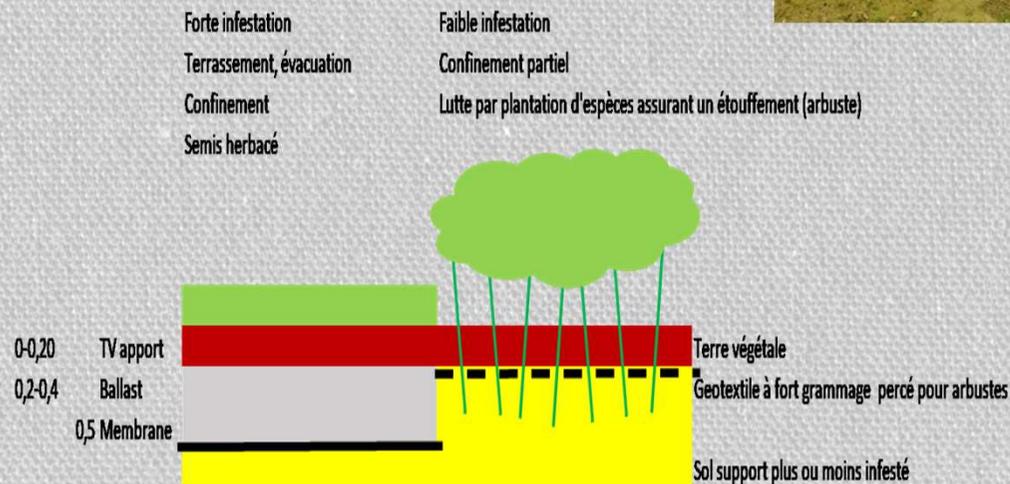
Se pose la stratégie d'approche tout en gardant à l'esprit qu'une éradication est quasi-impossible;

Soit la purge/substitution onéreuse en grand volume avec ou sans traitement de sols ;

Soit la purge partielle, géo synthétique et la végétalisation d'étouffement et une gestion très poussée.



- **Source AEU, Gare de la Déportation, Bobigny**
- **OKRA, mandataire**



Merci de votre attention

Quelques références utiles

- NFU 44 551 – Support de Culture
- Règle professionnelle PC1-R0 de Novembre 2012 : Travaux des sols support de paysage.
- Ouvrage : Créer des sols fertiles : du déchet à la végétalisation urbaine. DAMAS O et COULON A. (2016). Edition du Moniteur.
- Thèse : PRUVOST Ch. (2019).- Potentiel de la biodiversité dans la construction de technosols à partir de déchet urbain. Univ.Créteil.
- PROJET MUSE (2022). –Intégrer la multifonctionnalité des sols dans les documents d'urbanisme. ADEME.

Pour s'informer encore plus

- Projet ADEME : <https://infos.ademe.fr/magazine-mars-2021/dossier/biotubes-rehabiliter-les-sols-des-friches-a-moins-cout/>
- Programme SITERRE : lien [Programme SITERRE - Procédé de cons... - Plante & Cité \(plante-et-cite.fr\)](#) ou [Du déchet au Technosol fertile : l'approche circulaire du programme français de recherche SITERRE \(openedition.org\)](#)
- BAIZE D. (2000). Teneur totale en métaux lourds des sols français Lien : [LeCourrier39.pdf \(hal.science\)](#)