



Décembre  
2023

## Le génie pédologique pour recréer des sols fertiles

### De quoi parle-t-on ?

La **reconstitution** et la **construction de sols**, basées sur des techniques de génie pédologique, consistent à reconstituer ou créer de toute pièce des sols fertiles à l'aide de matériaux qui pour la plupart sont issus de déchets urbains (notamment : déchets minéraux produits par l'industrie du BTP comme les terres excavées, boues de lavage de granulats, boues papetières, déblais de dragage etc.) (BRGM 2020). Des composts sont également largement utilisés pour rétablir cette fertilité.

**La reconstitution de sol** intervient lorsque les sols en place ne possèdent pas des propriétés agronomiques favorables à la croissance et au développement des végétaux (Damas et al. 2016). Le référentiel pédologique édité par l'association française pour l'étude du sol (AFES 2017) définit les « anthroposols reconstitués » comme étant des sols qui « résultent de l'activité humaine en milieu urbain et péri-urbain, par l'utilisation de matériaux pédologiques transportés, remaniés, puis mis en place dans les jardins, parcs et espaces verts pour les plantations de végétaux d'ornement (apport en quantité importante de produits organiques résiduels au sol en place etc.). Ils sont différents des « terres végétales » des paysagistes qui sont souvent constitués par des horizons labourés (L), provenant des couches arables de terrains agricoles, mélangés parfois à la partie supérieure de l'horizon sous-jacent du lieu de prélèvement (BRGM, 2020; Damas et al., 2016).

L'objectif est donc de rétablir certaines fonctions essentielles assurées antérieurement par le sol naturel initial (cf figure 1 - BRGM 2020). Dans la pratique, la couche de surface du sol reconstitué (20 à 30 cm d'épaisseur) peut être enrichi par des apports en grande quantité d'amendements organiques. La norme NF U 44-051 définit ce que sont des amendements organiques et ceux qui peuvent être utilisés.

Cette approche peut être couplée à des opérations de fertilisation chimique et de végétalisation (BRGM 2020).

**La construction de sol** est basée sur la création d'un nouveau sol assurant un niveau de fonctionnalité élevée (support de végétation, maintien du cycle de l'eau et des nutriments, habitat biologique,...), mais diffère en termes de structure et de fonction de l'original (France Stratégie, 2019; Tagourdeau et al., 2020). Issue du génie pédologique, elle vise à mettre en place un sol structuré en couches ou horizons fonctionnels (cf figure 2 - Damas et al., 2016). La formule des différents horizons produits sera notamment adaptée au projet d'aménagement choisi et aux services que ces sols doivent fournir (régulation, culture, approvisionnement, etc).

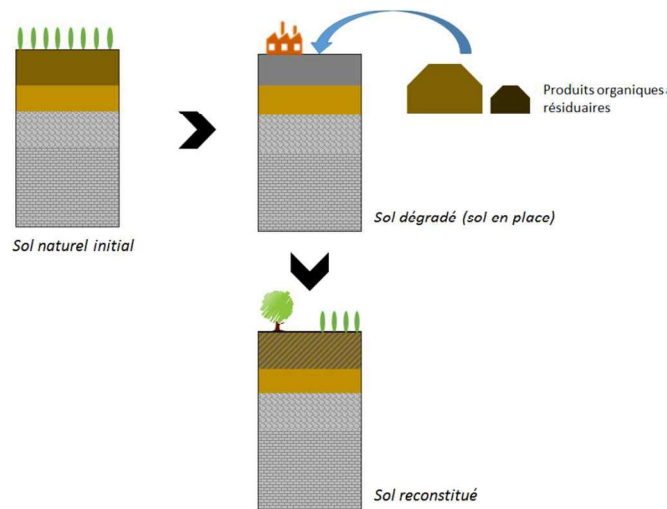


Figure 1 : Principe de mise en œuvre du procédé de reconstruction de sol (BRGM 2020)

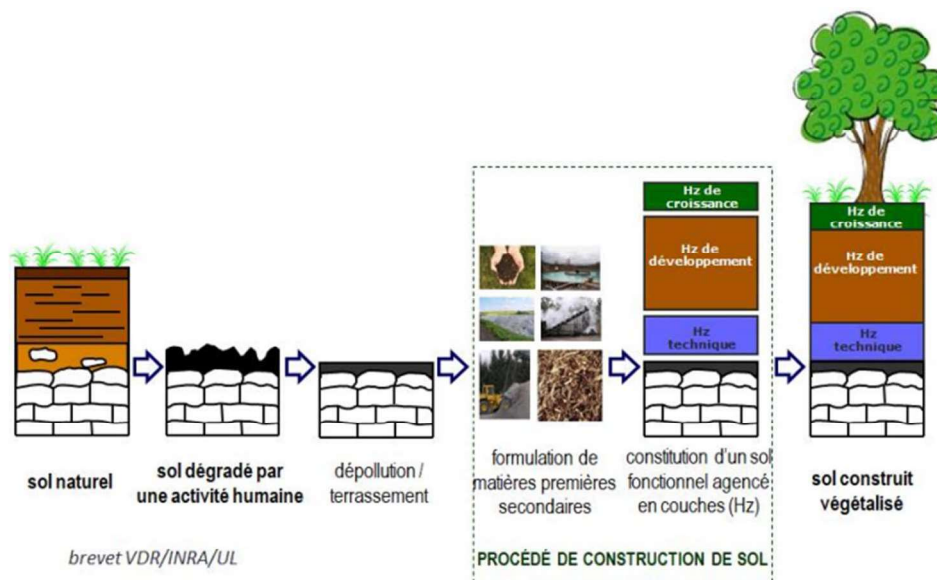


Figure 2 : Principe de mise en œuvre du procédé de construction de sol (Damas et al. 2016) ([http://www.genieecologique.fr/sites/default/files/6\\_aprem\\_jet\\_desartificialisation\\_lse.pdf](http://www.genieecologique.fr/sites/default/files/6_aprem_jet_desartificialisation_lse.pdf))

La construction de sol se distingue de la reconstitution de sol par les quantités de matériaux exogènes nécessaires, beaucoup plus importantes (Taugourdeau et al., 2020), et par le caractère multifonctionnel plus réfléchi du sol à construire qui peut répondre à un cahier des charges précis.

Ces deux techniques de génie pédologique peuvent être menées de manière conjointe avec des techniques de désimperméabilisation (voir fiche « Désimperméabiliser les sols : une étape indispensable dans un projet de renaturation », ADEME, 2023)



## Etat des lieux des critères d'appréciation du génie pédologique

<b>Critères</b>	<b>Description</b>	<b>Appréciation</b>
<b>Réglementation</b>	Actuellement, il n'existe pas en France de réglementation spécifique.	
	Les matériaux pouvant être utilisés pour la construction ou la reconstitution de sols ont, généralement, le statut de déchets et les contraintes réglementaires s'y afférant (triptyque « utilité-innocuité-responsabilité »).	
<b>Avantages</b>	Permet une réduction de l'artificialisation.	
	Permet une réduction de l'utilisation de terre végétale issue du décapage de sols prélevés dans des zones agricoles ou encore des granulats de carrière.	
	Permet de retrouver potentiellement toutes les fonctions du sol : amélioration des fonctions biologiques, géochimiques et hydrogéomorphologiques ainsi que les services écosystémiques qu'elles produisent, particulièrement les fonctions qui permettent la production, l'exploitation et la régulation du cycle de l'eau (sous réserve que les risques de pollution des horizons non remaniés soient maîtrisés).	
	Augmente la circularité des matériaux terreux urbains qui présentent un potentiel de fertilité et qui, faute d'exutoire, seraient transportés jusqu'aux installations de stockage les plus proches.	
<b>Méthodologie / R&amp;D / Communication</b>	Il existe un programme SITERRE (2012-2015) qui a développé une démarche de génie pédologique pour construire des sols possédant les fonctions de fertilité agronomique et de portance recherchées (ouvrage de Damas et al ; 2016, disponible aux Editions du Moniteur).	
	Il n'existe actuellement pas de guide de prescriptions environnementales dans le cadre de projets de reconstitution ou construction de sols (Taugourdeau et al., 2020).	
	Différents guides de bonnes pratiques existent en France, en lien avec la réutilisation de matériaux.	
	Nécessité d'intéresser des maitres d'ouvrage pour utiliser les sols construits et de communiquer sur le sujet.	
<b>Echelle d'application</b>	Selon France Stratégie 2019, on estime à environ 200 t/ha/an, les volumes annuels de terres végétales mises en œuvre pour de nouveaux aménagements d'espaces verts publics.	



	Les possibilités de mise en œuvre de la reconstitution ou de construction de sol sont larges, avec une applicabilité aussi bien en zone urbaine qu'en zone rurale. De nombreux usages sont par ailleurs demandeurs de ce type de solutions techniques, dès lors que de la terre végétale est requise.	😊
<b>Maturité de la technique pour la prise en compte des sols</b>	En dehors de projet démonstrateurs tels que BioTechnosol, LORVER, Bio-TUBES, SITERRE, AGREGE, peu de projets de renaturation reposant sur une construction ou reconstitution de sols ont, pour le moment, été mis en place.	😐
<b>Coûts</b>	Les coûts de ce type d'action sont encore difficiles à évaluer parce qu'ils dépendent de l'importance de la transformation initiale des sols et de la disponibilité locale des matériaux secondaires.	😐
<b>Freins</b>	Le prétraitement, la formulation et le stockage nécessitent une emprise foncière pour une installation qui aura le statut d'ICPE.	😞
	Les matériaux déchets sont hétérogènes dans l'espace et dans le temps et leurs caractéristiques physico-chimiques peuvent varier pour un même matériau.	😞
	Le manque de retour d'expérience permettant de caractériser l'évolution des mélanges à long terme, et l'absence d'un encadrement réglementaire adapté présentent un risque de multiplicité des coûts pour garantir l'innocuité environnementale et la traçabilité.	😞
	La méconnaissance de la part des acteurs publics (notamment les services techniques) et un attachement aux anciennes (et actuelles) pratiques de prélever de la terre végétale dans les zones agricoles.	😞

## Les acteurs concernés et leurs besoins identifiés

Les acteurs de la construction ou reconstitution de sols peuvent intervenir à différents stades de la mise en œuvre du ZAN, de l'étape de planification et de définition de stratégies, jusqu'à la mise en œuvre de la technique en tant que telle.

De nombreux acteurs attendent beaucoup de cette technique (les collectivités, les aménageurs, les entreprises du BTP, les citoyens, etc), car les besoins en terres végétales sont aujourd'hui importants. Ils attendent que les matériaux utilisés pour la construction de sols soient locaux et que leur qualité soit caractérisée pour assurer la sécurité des personnes (impact sur la santé) (Plante&Cité et al., 2015).

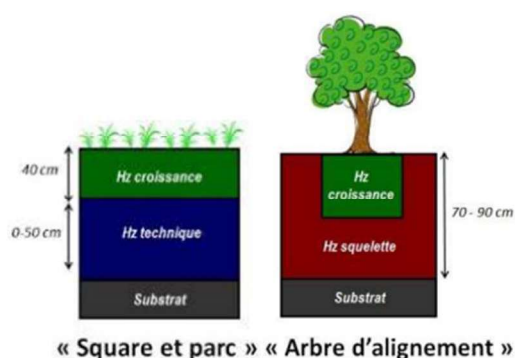


Figure 3 : Profils de sol des usages « square et parc » et « arbre d'alignement », © SITERRE



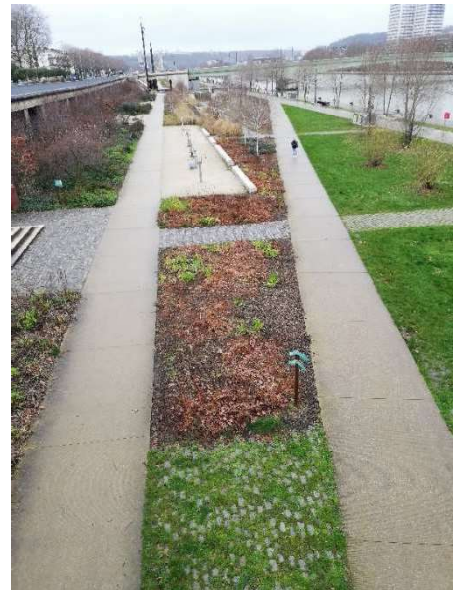
Figure 4 : Fosse pédologique sur un sol anthropique (Source : ADEME)



## Points d'attention

Actuellement, il n'existe pas en France de réglementation spécifique relative à la reconstitution ou la construction de sol. Néanmoins, plusieurs aspects techniques peuvent être rattachés au code rural et de la pêche maritime ou au code de l'environnement. Par ailleurs, la plupart des matériaux susceptibles d'être utilisés pour la construction ou reconstitution de sol sont des « biens meubles, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire », c'est-à-dire des matériaux prenant le statut de déchet au sens de la réglementation européenne, et donc française (art. L. 541-1 du code de l'environnement).

Dans un contexte de gestion et de valorisation de déchets principalement urbains, les documents de référence (guides), évoqués ci-dessus, ont été élaborés par les mêmes acteurs en charge de l'élaboration de la méthodologie nationale française de gestion des sites et sols pollués (MTES, 2017) et de la gestion des déchets. C'est pourquoi, le danger sanitaire et environnemental constitue actuellement le cœur de ces guides. Il s'agit d'une attente forte des futurs utilisateurs de ses anthroposols comme l'a montré l'enquête réalisée au cours du programme SITERRE. Toutefois, cette dimension n'est pas suffisante pour permettre à elle seule le développement de la filière de construction de sol. Il faut pour cela être en mesure de mieux apprécier la valeur des sols construits au sens des fonctions écologiques qu'ils seront capables de supporter et, par voie de conséquence, les services écosystémiques qu'ils seront capables de rendre. Seule la méthodologie proposée dans l'ouvrage « créer des sols fertiles » (Damas et al., 2016) permet de répondre en partie à ces aspects, avec l'évaluation des fonctions du sol en fonction des scénarios (« usages-modèles ») proposés dans le cadre du programme.



*Figure 3 : Aménagement urbain à partir de technosols à Rouen (Source : ADEME)*

Sur le plan économique, il apparaît que les aménageurs ne sont pas prêts à payer sensiblement plus chers que la pratique actuelle d'apport de terres végétales issus du décapage des sols agricoles. La filière de construction de sols doit donc, s'efforcer de jouer sur des leviers indirects, en lien notamment avec les coûts d'élimination et de transport évités pour les producteurs des déchets.

## Projets R&D récents

Les résultats de nombreux projet démonstrateurs sont actuellement disponibles en France (voir par exemple, SOLVER, BioTechnosol, Bio-TUBES (Tagourdeau et al., 2020), SITERRE (Plante&Cité et al., 2015), AGREGE). Mais, les réalisations en vraie grandeur restent encore limitées.

La Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) pratique la construction de sols pour construire des merlons autoroutiers. Les Villes de Paris et Lyon, en collaboration avec des entreprises de travaux public comme ECT, ou des paysagistes, développent des supports de culture à partir de terres inertes du BTP et de compost de déchets verts.

Le programme SITERRE (2012-2015) financé par l'ADEME, a développé une démarche de génie pédologique pour construire des sols possédant les fonctions de fertilité agronomique et de portance recherchées. Il a également défini cinq usages-modèles (squares et parcs, accompagnement de voie de circulation, de bâtiments publics, d'espaces naturels aménagés et arbres d'alignement) (France Stratégie, 2019; Plante&Cité et al., 2015).

Ils ont été retenus pour leur représentativité dans l'espace urbain et leur pertinence par rapport aux objectifs de recherche de matériaux de substitution et leur différenciation sur la base de critères évalués (entretien, propreté, sensibilité vis-à-vis du public, etc). Chacun de ces modèles présentent des exigences différentes selon les fonctions qu'ils assurent : fonctions de support, d'alimentation en eau et de filtre/échange (Damas et al. 2016). Ce programme se poursuit avec SITERRE 2 (2022-2025) qui est à l'origine de la mise en place de cinq démonstrateurs avec un suivi de l'évolution dans le temps des fonctions assurées par les sols construits, évaluer l'impact environnemental de ces types de sol par l'analyse de cycle de vie (ACV). Grâce à ce retour d'expériences et aux connaissances acquises dans le cadre du projet, un guide sera réalisé pour aider à la conception et à la mise en œuvre des sols construits à destination des Maîtrises d'Ouvrage et des paysagistes.

Ce programme proposera également un outil d'aide à la décision pour faciliter le choix d'un anthroposol (également appelé « technosol ») construit en prenant en compte les contraintes techniques, économiques et sociétales. L'outil fournit ainsi une vision simplifiée des avantages et des inconvénients des mélanges de matériaux disponibles, à partir de données d'entrées de type techniques (disponibilité de matériaux, caractérisation de matériaux), de type économiques et sociétales (acceptabilités), et selon un usage du sol envisagé (Plante&Cité et al., 2015).



La « Rudothèque » SITERRE en juin 2011  
© SITERRE

## Perspectives

Plusieurs perspectives sont actuellement identifiées :

- Nécessité de réaliser un travail de sensibilisation sur l'importance de la traçabilité des déchets dans le contexte de la construction ou reconstitution de sols ;
- Nécessité d'intéresser des maitres d'ouvrage pour utiliser les sols construits et de communiquer sur le sujet ;
- Développer les retours d'expériences de projet de renaturation basés sur la mie place de sols construits ou reconstruits



## Références bibliographiques

- AFES. 2017. « Sols et définitions ». 2017. <https://www.afes.fr/sols-et-definitions/>.
- BRGM. 2020. « Constitution de matériaux alternatifs en support de culture : reformation de sols urbains fertiles à partir de déchets pour végétaliser la ville - Retour d'expérience des projets de R&D sur la reconstitution et construction de sols ».
- Damas, Olivier, Anais Coulon, Philippe Bataillard, Mohammed Benbrahim, Florimond Brun, Patrice Cannavo, Pascale Chenon, et al. 2016. *Créer des sols fertiles. Du déchet à la végétalisation urbaine*. Editions du Moniteur. Antony.
- France Stratégie. 2019. « Document de travail « Zéro artificialisation nette » : quels leviers pour protéger les sols ? » <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-dt-zero-artificialisation-nette-octobre-2019.pdf>.
- MTES. 2017. « Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués ».
- Plante&Cit , Valterra, Rittmo Agroenvironnement, ACTeon, Luc Durand, IFFSTAR, BRGM, Université de Lorraine-GISFI, et Agrocampus Ouest-INHP. 2015. « Programme SITERRE - Procédé de construction de Sols à partir de matériaux Innovants en substitution à la TERRE végétale et aux granulats de carrière - Rapport final ». Ademe. [https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/476/programme\\_siterre\\_procede\\_de\\_construction\\_de\\_sols\\_a\\_partir\\_de\\_mat\\_eriaux\\_innovants\\_en\\_substitution\\_a\\_la\\_terre\\_vegetale\\_et\\_aux\\_granulats\\_de\\_carriere/n:25](https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/476/programme_siterre_procede_de_construction_de_sols_a_partir_de_mat_eriaux_innovants_en_substitution_a_la_terre_vegetale_et_aux_granulats_de_carriere/n:25).
- Tagourdeau, Olivier, Jennifer Hellal, Daniel Montfort, Elsa Limasset, Camille Chauvin, et Enjeux de. 2020. « ADEME Enjeux de la reconversion d'une friche et comment évaluer la réhabilitation écologique d'un sol dégradé - Synthèse - Evaluation des services et des fonctions lors de la restauration écologique d'une friche Projet Bio-TUBES ». [https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese-biotubes-enjeux-reconversion-friche\\_2020.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese-biotubes-enjeux-reconversion-friche_2020.pdf).
- Taugourdeau, Olivier, Jennifer Hellal, Daniel Montfort, Elsa Limasset, et Camille Chauvin. 2020. « Enjeux de la reconversion d'une friche et comment évaluer la réhabilitation écologique d'un sol dégradé - Evaluation des services et des fonctions lors de la restauration écologique d'une friche, Projet Bio-TUBES-Synthèse ». *Ademe*, Ademe, 42.

### Ce document est diffusé par l'ADEME

#### **ADEME**

20, avenue du Grésillé  
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2022002016

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Anne-Lise  
Gautier - BRGM

Coordination technique - ADEME : Cécile Grand et Emma Girot  
Direction/Service : DVTD/Sitésol

### CITATION DE CE RAPPORT

Anne-Lise GAUTIER, Elsa LIMASSET et Pauline  
DRZEWIECKI - BRGM

Cécile GRAND et Emma GIROT - ADEME

2023. Avis d'expert – La santé des sols urbains au service  
de l'aménagement des villes et du territoire. 13 pages

Cet ouvrage est disponible en ligne

<https://librairie.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.