

Référentiel Renaturation

**Outil d'aide à la conception
pour les projets de
renaturation des sols**



Institut
de la **Transition**
Foncière



Institut
de la **Transition**
Foncière



Référentiel Renaturation

**Outil d'aide à la conception
pour les projets de
renaturation des sols**

Un projet de l'Institut de la Transition foncière, conduit en collaboration avec ARP Astrance, avec le soutien d'Icade et de l'ADEME.

Parution mai 2026

Auteur·ices : Naïma Ghabbar Grima, Juliette Helme et Maxime Dupont (ARP Astrance), Zoé Raimbault, Azilis Bas, Ambroisine Fer, Marie Lambot et Félix Stive (Institut de la Transition foncière)

Coordination : Zoé Raimbault, Candice Pigéard, Margot Holvoet, Jean Guiony (Institut de la Transition foncière)

Conception graphique et mise en page : Juliette Drumain

Schémas et infographies : Naïma Ghabbar Grima et Juliette Helme (ARP Astrance), adaptés par l'Institut de la Transition foncière

Numérisation outil : agence Mentalo

Pour citer ce document : Institut de la Transition foncière, « Référentiel Renaturation : outil d'aide à la conception pour les projets de renaturation des sols », 2026.

L'Institut remercie chaleureusement toutes ses organisations adhérentes, partenaires, et experte·s ayant contribué à la réalisation de ce rapport, par leur participation aux groupes de travail et/ou aux expérimentations.

Remerciements

Nos remerciements particuliers vont aux soutiens financiers et opérationnels du **Référentiel**

Renaturation :

- Pour l'ADEME, Cécile Grand
- Pour Icade, Nicolas Bellego, Joséphine Brune, Khanh Nguyen-Duy, Franck Calvar, Pierre Mignon, Antoine Boudin
- Pour ARP Astrance, Sophie Moal, Martin Sénéchal, Maxime Dupont, Juliette Helme et Naïma Ghabbar Grima

Ainsi qu'aux structures porteuses et impliquées dans les expérimentations du Référentiel :

- Pour Icade (site de Montpellier), Laurent Maupome, Ludovic Quentier, Julia Guilleman et Christophe Gruau
- Pour La Poste Immobilier, Célia Darisse et Patrice Gandrey
- Pour Essor Transitions, Mathilde Noël
- Pour EODD ingénieurs conseils, Anne Blanchard, Loïc Joder, Axel Tavernier

L'Institut tient également à remercier l'ensemble des expert-es ayant participé à la relecture du rapport ou de l'outil numérique :

- Association Française pour l'Etude du Sol (AFES)
- EODD ingénieurs conseils
- France Nature Environnement PACA
- Plante & Cité
- Union Nationale des Entreprises du Paysage (UNEP)
- Charles Claron, docteur, CIREN / LATTIS
- Lukas Madl, doctorant, Lab'Urba / OCS
- Sirine Guiot, doctorante, Laboratoire Sol, Eau, Environnement

Ainsi que l'ensemble des organisations ayant participé aux groupes de travail de l'outil : ANCT, Banque des Territoires, CDC Biodiversité, Cerema, département de l'Essonne, EpaMarne, EPT Est Ensemble, Fédération des EPL, Fédération des SCoT, Actierra, agence TER, AREP, CityZan, Nhood, Ordre des géomètres-experts, SCE, Sol Paysage, Terideal, Fondation pour la Nature et l'Homme, France Nature Environnement Ile-de-France.

Remerciements	5
Avant Propos	8
L'Institut de la Transition foncière et ses outils	9
Préambule	10
Glossaire	11
Liste des acronymes	13

Introduction 14

LES SOLS ET LEURS FONCTIONS ÉCOLOGIQUES	15
LA RENATURATION COMME UNE RESTAURATION DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES SOLS	16
POURQUOI RENATURER ?	16
CADRAGE DU RÉFÉRENTIEL	17
UN OUTIL D'ACCOMPAGNEMENT POUR LA MAÎTRISE D'OUVRAGE	18
UNE DÉMARCHE DE CO-CONSTRUCTION DE L'OUTIL	18
STRUCTURE DU RÉFÉRENTIEL	18

Définir sa stratégie de renaturation 20

CHOISIR SON SITE À RENATURER	22
RÉALISER LES ÉTUDES PRÉALABLES ET LE DIAGNOSTIC INITIAL	25
DIMENSIONNER SON PROJET	32
Spatialiser son projet	33
Hiérarchiser ses objectifs de refunctionalisation	38
Estimer les coûts de la renaturation et identifier les leviers d'optimisation	44
Anticiper les différentes temporalités de son projet	48

Expérimenter le Référentiel Renaturation 50

<i>RENATURATION D'UNE FRICHE SPORTIVE EN RÉGION LYONNAISE</i>	52
<i>RENATURATION D'UN CENTRE COMMERCIAL À MONTPELLIER</i>	55

Réaliser son projet de renaturation 58

PHASE CHANTIER	61
Avant le chantier - anticipation	61
Pendant le chantier	64
TRAVAUX DE PRÉPARATION	66
Descellement	66
Excavation	69
Tri et transport des matériaux	73
Gestion des espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE) et des terres contaminées aux EVEE	74
REMISE EN ÉTAT DES SOLS	77
Gestion des pollutions	77
Stockage et réemploi des terres excavées	80
Amélioration et construction de sol	83
RÉAMÉNAGEMENT ÉCOLOGIQUE	91
Sélection de la végétation	91
Travailler un couple sol-végétation écologiquement fonctionnel	95

Évaluer son projet de renaturation 102

ÉVALUER LES FONCTIONS DES SOLS	103
ASSURER LE MAINTIEN ET LA GESTION DES FONCTIONS DU SOL	111
Bibliographie	112
Annexes	118

Avant Propos

Dettes éthiques contractées depuis longtemps, dette écologique qui s'accumule de mois en mois, la contribution humaine à l'effondrement des écosystèmes n'a pas connu de modération jusqu'à présent. Éviter les atteintes aux espaces naturels, agricoles et forestiers, ainsi qu'aux espaces de nature en ville, constitue la première urgence pour espérer limiter les pertes de biodiversité, les dysfonctionnements hydriques et les risques climatiques associés.

C'est sans nous divertir de cette priorité que doit être conduit, en parallèle, le travail de réparation. Il fait son apparition, sous le terme de « renaturation » ou de « restauration », dans les politiques publiques et les pratiques de certains acteurs, parce que les pressions sur les écosystèmes menacent désormais l'habitabilité de nos territoires. Réparer devient non seulement éthique, non seulement nécessaire pour les générations futures, mais aussi une nécessité du temps présent.

L'Union européenne s'est fixé l'objectif de 30% d'écosystèmes en bon état « écologique » d'ici 2030 et plus de 90% en 2050, dans un règlement qui fait office de stratégie européenne de restauration. Elle a également imposé un suivi désormais à échelle plus fine de nos sols et de leurs fonctions, tout en confirmant, comme en droit français, que l'artificialisation est une dégradation des fonctions écologiques des sols.

Le mot de renaturation, lui, est souvent utilisé pour désigner des opérations qui n'ont ni la même ambition, ni les mêmes objectifs, ni la même logique : désimperméabilisation, végétalisation, dépollution et remédiation, désartificialisation et refunctionalisation. C'est cette dilution du sens, qui constitue une première difficulté. Si la renaturation peut désigner tout et son contraire, elle finit par ne plus désigner rien de précis.

L'Institut de la Transition foncière a fait le choix de proposer une démarche collective et de produire une méthodologie partagée pour fixer l'une de ces définitions : la renaturation qui permet, au titre de la loi Climat & Résilience, de passer d'un sol artificialisé à un sol désartificialisé, parce que les fonctions écologiques des sols ont été restaurées.

Comme pour toute démarche de l'Institut, notre ambition est de doter les collectivités, les aménageurs, les opérateurs et les maîtres d'ouvrage d'une méthode adaptée au terrain, et déployable à plus



Figure 1 : Jean Guiony, Urbaniste, Président de l'Institut de la Transition foncière © Jean-Yves Le Tétour, 2025

grande échelle. C'est une condition nécessaire pour que la renaturation devienne une composante de l'aménagement des sols urbains et dégradés, et un savoir-faire maîtrisé par les acteurs opérationnels.

La plus grande vigilance reste de mise dans l'usage qui est fait de ces solutions : les sols et donc les écosystèmes qu'ils supportent constituent un patrimoine, largement non renouvelable, et pas à des échelles de temps humaines. La renaturation ne doit donc pas masquer l'irréversibilité des pertes, et elle ne doit pas nourrir d'illusions solutionnistes. En revanche, de la même manière que nos sociétés ont appris, ou ré-appris, à réparer le bâti, il est temps qu'elles se dotent de compétences et de méthodes partagées pour réparer les sols.

Le Référentiel Renaturation est donc conçu comme un **outil de conception, de planification et d'aide à la décision dans le choix des techniques**.

Il propose une démarche progressive, qui accompagne les porteurs de projet étape par étape, depuis la compréhension des caractéristiques initiales du site jusqu'aux arbitrages techniques et à la formulation des exigences dans les cahiers des clauses techniques. Il s'inscrit dans une logique d'apprentissage et de structuration de la filière.

À l'heure où la renaturation est appelée à devenir une composante normale des projets urbains et territoriaux, ce référentiel veut contribuer à ce que cette pratique soit déployée avec exigence scientifique, éthique et technique.

L'Institut de la Transition foncière et ses outils

L'Institut de la Transition foncière est une association loi 1901, fondée à l'initiative d'acteurs publics et privés, ayant pour objectif de réunir une filière autour de la transition foncière. Il s'agit de replacer la préservation des sols vivants au centre de la question urbaine et territoriale, tant dans les milieux liés à l'aménagement et à la construction que dans la société civile, et de devenir un lieu de rassemblement et d'élaboration de pensée autour de cette question au niveau local, national et européen.

L'Institut de la Transition foncière, en parallèle de ses activités d'accompagnement de la recherche appliquée dans le cadre de la Chaire Transition foncière (en partenariat avec l'Université Gustave-Eiffel), propose une méthode de développement, en co-construction avec les membres de la filière, d'outils directement opérationnels pour les professionnels engagés dans la préservation des sols (privés comme publics, promoteurs, aménageurs, collectivités, architectes, bureaux d'études) ou dont l'activité a un impact sur la consommation des sols (investissement, assurance, etc.).

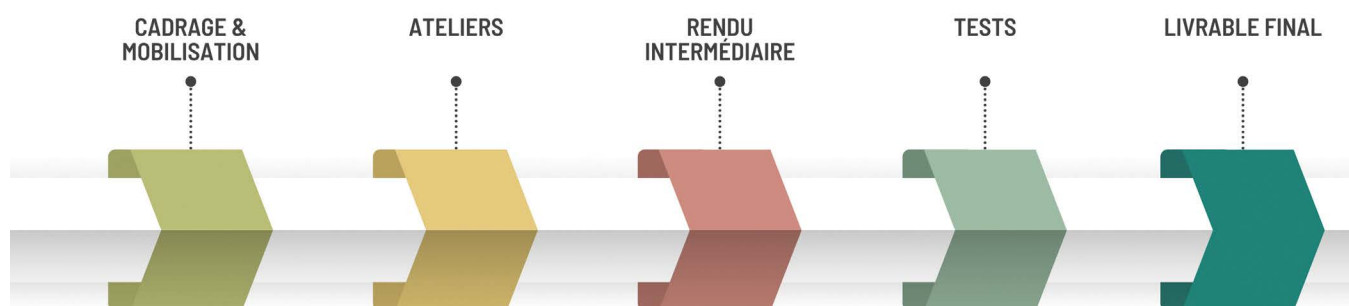


Figure 2 : Etapes de développement des outils de l'Institut de la Transition Foncière |

L'objectif de cette démarche de co-développement d'outils opérationnels est de faire muter la fabrique du territoire et converger vers de nouvelles pratiques intégrant la dimension des sols vivants comme bien commun à préserver. La création d'outils opérationnels, connectés directement aux pratiques de la filière, est indispensable pour créer des standards et des critères reconnus, appropriables par tous, ainsi que d'assurer un passage à l'échelle de la sobriété foncière.

Préambule

Le **Référentiel Renaturation** est un outil d'aide à la décision à destination des porteur-ses de projet de renaturation (maîtrise d'ouvrage). Le projet a été développé par l'Institut de la Transition foncière en partenariat avec ARP Astrance, Icade et l'ADEME.

La construction de ce référentiel s'inscrit en complément d'autres travaux en cours ou réalisés au sujet de la renaturation ou de la restauration des fonctions des sols. Cependant, l'approche proposée ici est spécifique, à la fois du point de vue de l'échelle abordée – celle du projet –, de la vision multifonctionnelle des sols, et de la vocation de l'outil – une aide à la conception de projet, et non pas simplement un outil d'évaluation.

Le **Référentiel Renaturation** répond à trois objectifs majeurs. Il vise à accompagner les porteur-ses des projets :

- dans l'**aide à la conception du projet** de renaturation en fonction des caractéristiques initiales du site, et de son usage final et des objectifs de la maîtrise d'ouvrage ;
- dans l'**anticipation des arbitrages techniques** liés à la mise en oeuvre du projet de renaturation, à partir de critères d'aide à la décision ;
- dans leurs **échanges avec les acteurs techniques**, en offrant notamment un accompagnement à la rédaction des cahiers des clauses techniques et particulières (CCTP).

Le référentiel se rapporte aux enjeux de la renaturation, définie comme une refunctionalisation des sols urbains et dégradés¹ – plus généralement la catégorie des SUTMA (Soils of Urban, Industrial, Traffic, Military and Mining Areas). Il ne traite pas de restauration écologique au sens large, ni de renaturation de sols agricoles.



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

Le référentiel constitue le complément détaillé et approfondi d'un outil numérique d'aide à la décision qui l'accompagne. Les deux documents sont destinés à être consultés en parallèle. L'utilisation de l'outil numérique ne nécessite pas de lire la totalité du référentiel, mais il est conseillé de s'y référer pour l'éclairer.

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

1 En cohérence avec la définition issue de la loi Climat et Résilience de 2021 (Article L101-2-1 du Code de l'urbanisme)

Glossaire

Amélioration de sol

Procédé différent de la construction de sol, l'amélioration de sol désigne la modification des propriétés physiques ou chimiques d'un sol existant, dans l'objectif d'améliorer les fonctions du sol.

Anthroposol / Technosol

Ces termes désignent des sols fortement modifiés par les activités humaines. Ils relèvent de différentes classifications scientifiques, et permettent de décrire les sols en fonction du degré et de la nature de l'anthropisation².

- Les Anthroposols sont définis à l'échelle nationale dans le Référentiel Pédologique³ français. Ils désignent des sols modifiés ou fabriqués par l'homme, souvent en milieu urbain, mais aussi parfois en milieu rural.
- Les Technosols sont définis à l'échelle internationale, dans le World Reference Base for soil resources (WRB)⁴, proposé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Ils désignent des sols qui contiennent une part significative d'artefact (au moins 20%), ou imperméabilisé par un matériau dur technique.

La catégorie des anthroposols recouvre ainsi une plus large diversité de situations que la catégorie des technosols⁵.

Construction de sol

Création artificielle d'un sol, dans le but de refunctionaliser un sol dégradé ou pollué. On peut distinguer la reconstitution de sols (qui implique des matériaux pédologiques) et la construction de sols (à partir de déchets)⁶.

Dégradation du sol

Changement dans l'état de santé du sol qui entraîne une diminution de la capacité de l'écosystème à fournir des biens et services pour ses bénéficiaires⁷.

Écologue

Les écologues sont des expert-es du fonctionnement des écosystèmes, qui savent décrire l'écosystème, son fonctionnement, l'imbrication des paramètres physico-chimiques et biologiques, ses dynamiques ou encore les causes du dysfonctionnement. Les écologues ont la capacité d'avoir une approche systémique, de conduire des études faisant intervenir de multiples acteurs, et d'animer les réflexions au sein de groupes de travail pluridisciplinaires⁸.

Fonctions des sols

Elles constituent la dynamique qui assure le maintien de l'état écologique, physique et chimique des milieux⁹. L'Association française pour l'étude du sol (AFES) en établit sept : Support physique stable pour le vivant ; Habitat pour les organismes ; Stockage, circulation et infiltration de l'eau ; Stockage, recyclage et transformation de la matière organique ; Stockage et fourniture de nutriments ; Échange gazeux avec l'atmosphère ; Filtration, rétention et dégradation de polluants. Le maintien de ces fonctions permet au sol de rendre certains services écosystémiques, essentiels pour l'être humain et l'environnement (se référer à l'[annexe 3](#)).

Naturaliste

Les naturalistes sont des expert-es de la biodiversité, spécialisés sur l'identification d'un ou plusieurs taxons et la connaissance de leur biologie, écologie et niveau d'enjeu¹⁰.

Pédogenèse

L'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques responsables de la transformation du matériau parental en sol, puis de son évolution. Autrement dit, c'est la formation du sol¹¹. Elle est influencée par le climat, le temps, la pente, la nature des roches et l'activité des organismes présents dans le sol ou encore les usages que l'on fait du sol.

2 Schwartz C. (coord.) et al., 2024. *Désimpermeabiliser les villes. Guide opérationnel pour (re)découvrir les sols urbains*. Plante & Cité, 70 p.

3 Baize D. (coord.), Girard M.-C. (coord.), 2008. *Référentiel pédologique 2008*, Association française pour l'étude du sol. Editions Quae.

4 IUSS Working Group WRB, 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports n° 106. FAO, Rome.

5 Schwartz C. (coord.) et al., 2024, *op. cit.*

6 Baize D. (coord.), Girard M.-C. (coord.), 2008, *op. cit.*

7 Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture, *Dégradation des sols*, Article de blog.

8 Union Professionnelle du Génie Écologique, *Les métiers de la filière du génie écologique* (2024)

9 Blanchart A., Calvaruso C., Eglin T., Pierart A. et Grand C., 2019. *Méthodologies d'évaluation des fonctions et des services écosystémiques rendus par les sols*, Synthèse séminaire du 12 juin 2019, INRA Orléans. 31 pages. ¹⁰ Union Professionnelle du Génie Écologique (2024), *op. cit.*

11 Association Française pour l'Étude du Sol, *La fresque du sol. 14Vf. Pédogenèse - formation du sol* (2023).

Pédologue

Les pédologues sont des expert-es du sol. Ce métier a pour but d'établir un diagnostic précis et d'organiser des analyses de sol pour le compte de commanditaires, à l'instar d'un organisme de recherche, d'une collectivité territoriale ou d'un bureau d'études¹².

Renaturation des sols

Selon le code de l'urbanisme (article L101-2-1¹³), la renaturation des sols correspond aux « actions ou opérations de restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol ». (voir définition : *Fonctions des sols*)

Services écosystémiques des sols

Les services écosystémiques sont les avantages retirés par l'humain de son utilisation actuelle ou future de diverses fonctions des écosystèmes, tout en garantissant le maintien de ces avantages dans la durée¹⁴. L'AFES dénombre 14 services écosystémiques rendus par les sols, issues de leurs sept fonctions écologiques. Ces services appartiennent à trois catégories : les services de régulation, les services d'approvisionnement, et les services culturels¹⁵.

Sol

Volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble peu altérée, ou peu marquée par la pédogénèse. Son épaisseur varie de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres. Il comporte le plus souvent plusieurs horizons correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux. Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et micro-organismes)¹⁶.

Sols artificialisés

L'artificialisation des sols est définie par la loi Climat et Résilience de 2021¹⁷, comme « l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou ses usages ». Ce terme inclut les sols dont l'évolution spontanée est compromise ainsi que les sols ayant perdu leurs usages forestiers ou agricoles¹⁸.

Sols imperméabilisés

L'imperméabilisation des sols se définit par un changement de ses propriétés d'infiltration des eaux pluviales. Elle peut être due au bâti, au revêtement ou au tassement¹⁹.

Texture / granulométrie

Caractérisation d'un sol en fonction de la taille de ses particules. La granulométrie définit la distribution en taille des particules (minérales) du sol. La texture d'un sol est définie en fonction des proportions relatives de trois classes granulométriques : les argiles (< 2 µm), les limons (entre 2 µm et 50 µm) et les sables (entre 50 µm et 2 mm)²⁰. La texture d'un sol est définie en fonction des proportions relatives de ces trois catégories granulométriques (par exemple, limon argilo-sableux, argile sableuse ou encore limon fin argileux)²¹.

12 Geo, *En quoi consiste le métier de pédologue ?* (2023)

13 Article L101-2-1 du Code de l'urbanisme

14 Blanchart A., Calvaruso C., Eglin T., Pierart A. et Grand C. (2019), *op. cit.*

15 Association Française pour l'Étude du Sol, *Services écosystémiques* (2023)

16 Association Française pour l'Étude du Sol, *Définition et enjeux* (2018).

17 [LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021](#) portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets.

18 Bechet B., Le Bissonnais Y., Ruas A., Aguiléra A., Andrieu H., Barbe E., Billet P., Cavailhès J., Cohen M., Cornu S., Dablanc L., Delolme C., Géniaux G., Hedde M., Mering C., Musy M., Polèse M., Weber C., Frémont A., Le Perchec S., Schmitt B., Savini I., Desrousseaux M., 2017 *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols: déterminants, impacts et leviers d'action*. Synthèse. INRA. 127 p. [hal-02791450](#)

19 Plante & Cité, *Refonctionnalisation des sols imperméabilisés : programme Dessert*, ARB IDF, Article de Blog.

20 Marshall, T. J., J. W. Holmes, and C. W. Rose. 1996. *Soil Physics*. Cambridge University Press.

21 Groenendyk DG, Ferré TPA, Thorp KR, Rice AK. 2015. « Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for Improved Visualization of Landscape Function ». *PLoS ONE* 10(6): e0131299. doi:10.1371/journal.pone.0131299

Liste des acronymes

ACT

Assistance pour la passation des contrats de travaux, correspond à la sélection des prestataires

AFES

Association française pour l'étude du sol

AMO

Assistance à maîtrise d'ouvrage

ARR

Analyse des risques résiduels

AVP

Études d'avant-projet

CCTP

Cahier des clauses techniques particulières

DCE

Dossier de consultation des entreprises

DIAG

Prestation Diagnostic pollution

DGPF

Décomposition des prix globale et forfaitaire

EVEE

Espèces végétales exotiques envahissantes

EQRS

Évaluation quantitative des risques sanitaires

ETM

Éléments traces métalliques

EXE

Études d'exécution (plans et détails d'exécution, devis quantitatifs détaillés, calendrier prévisionnel des travaux, etc.)

GES

Gaz à effet de serre

ICPE

Installation classée pour la protection de l'environnement

IPBES

Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques

ISDI

Installation de stockage de déchets inertes

LEVE

Prestation LEVE (Levée de doutes)

MO

Matière organique

MOA

Maitrise d'ouvrage

MOE

Maitrise d'œuvre

PG

Plan de gestion (PG)

PGDTE

Plan de gestion des déblais et terres excavées

PLU(i)

Plan local d'urbanisme (intercommunal)

PRO

Phase projet

SCoT

Schéma de cohérence territoriale

SDIS

Service départemental d'incendie et de secours

SNCRR

Sites naturels de compensation, de restauration et de renaturation

SRADDET

Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

SRCE

Schéma régional de cohérence écologique

SSP

Sites et sols pollués

SUITMA

Soils of urban, industrial, traffic, mining and military areas

UCRR

Unités de compensation, de restauration et de renaturation

VRD

Voirie et réseaux divers

Introduction

LES SOLS ET LEURS FONCTIONS ÉCOLOGIQUES

Le Référentiel Renaturation propose une approche axée sur la restauration et l'amélioration des sols et de leurs fonctions.

Le sol peut être défini comme un « volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée, ou peu marquée par la pédogénèse. Son épaisseur varie de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres. [...] Il comporte le plus souvent plusieurs horizons

correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux. [...] Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et micro-organismes). »²²

Les sols sont formés par l'altération des roches, la dégradation de la matière organique et les mouvements de matières²³. La succession de processus conduisant à leur formation est appelée pédogénèse. **De nombreux sols sont néanmoins altérés par certaines activités humaines, et présentent différents stades d'anthropisation.** C'est notamment le cas en milieu urbain, où la pédogénèse et le fonctionnement des sols sont souvent modifiés par des pressions anthropiques : excavations, transports et apports de matières exogènes (matériaux pédologiques ou anthropiques), couverture et imperméabilisation du sol, diffusion de contaminants, érosion, tassement, etc.

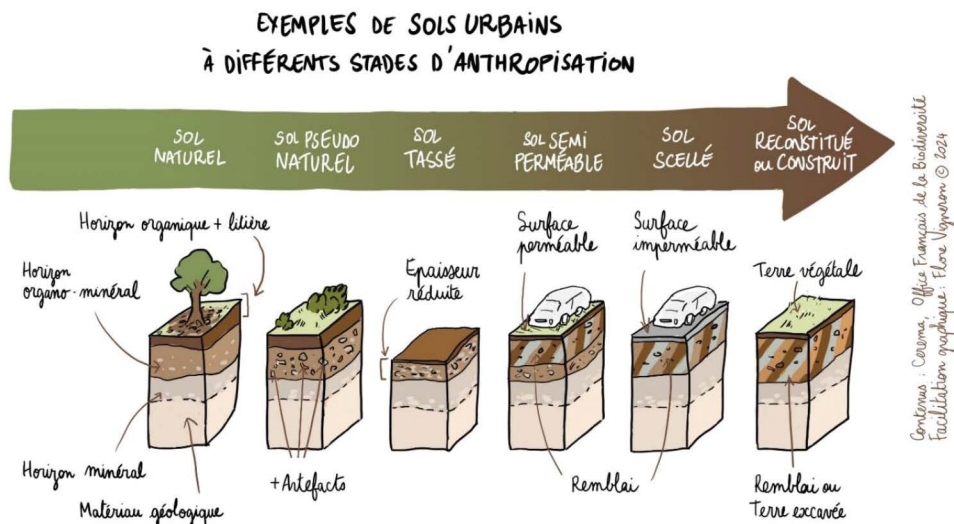


Figure 3 : Différents profils de sols urbains, plus ou moins anthropisés. ©Cerema, OFB, Flore Vignerot, 2024²⁴

²² Association française pour l'étude du sol, [Définition et enjeux](#) (2018)

²³ Duchaufour P., 1983. *Pédologie Tome I - Pédogénèse et Classification*. Paris : Masson.

²⁴ Cerema, Office français de la biodiversité, 2024. *Les coefficients de surfaces non imperméabilisées et éco-aménageables : des outils de planification pour préserver les sols en milieu urbain*. Livrable n°3, page 9.

Ces pressions anthropiques contribuent à altérer les **fonctions remplies par les sols**²⁵. Ce référentiel s'appuie sur la liste de sept fonctions établies par l'Association française pour l'étude du sol (se référer à l'*annexe 3*) :

- Stockage, recyclage et transformation de la matière organique ;
- Habitat pour les organismes ;
- Échanges gazeux avec l'atmosphère ;
- Stockage et fourniture de nutriments ;
- Support physique stable pour le vivant ;
- Stockage, circulation et infiltration de l'eau ;
- Filtration, rétention et dégradation des polluants.

LA RENATURATION COMME UNE RESTAURATION DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES SOLS

Selon le code de l'urbanisme (article L. 101-2-1), la renaturation des sols correspond aux « actions ou opérations de **restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol**, ayant pour effet de transformer un sol artificialisé en un sol non artificialisé »²⁶. D'autres termes sont employés dans la littérature scientifique ou dans les contextes opérationnels : restauration écologique, réhabilitation, régénération des sols ou encore requalification des friches.

Ici, le terme « renaturation des sols » est privilégié. On définit dans ce référentiel la renaturation des sols comme une action volontaire d'amélioration ou de « restauration » des fonctions écologiques des sols (ou « refonctionnalisation »). Il ne s'agit pas de prétendre à un retour vers un sol dit « naturel », la notion d'écosystème indigène n'étant pas pertinente dans un contexte urbain.

Le référentiel s'inscrit dans une lecture multifonctionnelle des sols dégradés, qui embrasse à la fois les enjeux de gestion des eaux pluviales (désimperméabilisation), de retour de la biodiversité (restauration écologique), de restauration de la qualité agro-pédologique et biologique des sols (construction de Technosols), de restauration de la qualité chimique des sols (gestion et/ou traitement des pollutions), etc.

⚠ Point d'attention

Un sol non urbanisé peut également avoir perdu certaines de ses fonctions. Pour diverses raisons, un sol non urbanisé peut être peu fonctionnel.

POURQUOI RENATURER ?

En milieu urbain, la renaturation des sols répond à des exigences réglementaires mais aussi à des enjeux de conservation de la biodiversité, de gestion des eaux ou d'adaptation des villes au changement climatique.

Sur le plan réglementaire national, **la loi Climat et Résilience**, adoptée en 2021²⁷, impose un objectif « Zéro Artificialisation nette » à l'horizon 2050. Elle intègre la possibilité de pratiques de « compensation » de l'artificialisation par la renaturation de certains espaces. Cette réglementation s'inscrit dans une logique similaire à celle de la **séquence Éviter, Réduire, Compenser (ERC)**, introduite dans le droit français en 1976²⁸. Le dernier volet de cette approche conduit à mettre en œuvre des mesures de compensation écologique des aménagements faisant l'objet d'une évaluation environnementale. Celles-ci sont généralement effectuées en milieu naturel, mais la logique ERC pourrait conduire à mettre en œuvre des actions de renaturation de sols dégradés. Au niveau européen, le **règlement européen pour la restauration de la nature**, adopté en 2024²⁹, vise à instaurer d'ici 2030 des mesures de rétablissement de 20 % des écosystèmes terrestres, 20 % des écosystèmes marins, et la restauration de l'ensemble des habitats spécifiques d'ici 2050.

25 En effet, les fonctions des sols dépendent directement des propriétés bio-physico-chimiques de ces derniers. De nombreux types de sols existent, chacun avec des propriétés différentes issues entre autres des processus de pédogenèse. C'est en modifiant ces propriétés que la capacité du sol à fonctionner peut être altérée. Par exemple, le tassement réduit la porosité du sol et donc l'aération du sol ainsi que sa capacité à infiltrer et retenir l'eau.

26 [Article L101-2-1](#) du Code de l'urbanisme

27 [LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021](#) portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets

28 [Article L122-3](#) du Code de l'environnement (consultée le 09/12/2025)

29 [Règlement \(UE\) 2024/1991](#) du Parlement européen et du Conseil du 24 juin 2024 relatif à la restauration de la nature et modifiant le règlement (UE) 2022/869

Au-delà de ces différentes exigences réglementaires, parfois amenées à évoluer, la restauration des fonctions des sols reste une réponse pertinente dans le cadre de l'adaptation des villes au changement climatique³⁰. La présence d'un sol fonctionnel étant un prérequis nécessaire à la mise en place d'espaces végétalisés³¹, la multiplication des projets de renaturation s'inscrit dans le cadre de la **lutte contre les îlots de chaleur urbains** : l'évapotranspiration par la végétation, et de manière générale les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère permettent de réguler le climat sur une zone proche. De plus, la canopée en apportant de l'ombre permet de rafraîchir un site de manière très localisée³². La renaturation s'appuie également généralement sur des actions d'amélioration de l'infiltration des eaux, qui permettent ainsi de mieux **prévenir les inondations**³³. La mise en place d'espaces renaturés peut aussi s'inscrire dans le cadre de **stratégies écologiques territoriales**, la trame brune (continuité de sols) permettant d'appuyer les trames vertes³⁴.

- Les types de sols concernés par ce référentiel sont de type **SUITMA** (soils of urban, industrial, traffic, military and mining areas). La restauration des sols agricoles ou naturels n'est donc pas traitée dans ce document. La restauration des cours d'eau (reconstitution hydraulique) n'est pas non plus traitée.

CADRAGE DU RÉFÉRENTIEL

Ce référentiel propose un cadrage complémentaire à celui d'autres outils davantage axés sur la *planification* de la renaturation, ou destinés directement à des *acteurs techniques*.

- Ce référentiel est destiné aux **porteur-ses de projets** de renaturation (maîtrise d'ouvrage) ;
- En termes d'échelle spatiale, il s'applique à **l'échelle du projet** ;
- En termes d'échelle temporelle, il s'adresse aux porteur-ses de projets pendant la **phase amont**, afin de leur permettre de planifier et d'anticiper le cycle de vie du projet de renaturation : de la **conception**, à **l'évaluation** en passant par la **réalisation** du projet ;

Bonne pratique

Si la planification territoriale n'est pas traitée dans ce référentiel, elle n'en demeure pas moins une étape indispensable permettant de mieux articuler les objectifs de renaturation avec les stratégies écologiques du territoire, et les trajectoires en matière d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Les guides développés par l'ARB Ile-de-France³⁵, la CDC Biodiversité et l'OFB³⁶ ou encore la Fédération des SCoT³⁷, explorent notamment les méthodologies pour mieux identifier les secteurs prioritaires de renaturation.

Les arbitrages à l'échelle du projet dépendent des usages prévus par les documents de planification (PLU, PLUi, SCoT). De ce fait, l'usage du sol est souvent prédéfini et antérieur aux éventuels diagnostics de sols. La maîtrise d'ouvrage conserve néanmoins la possibilité de modifier le projet en faisant évoluer certains usages, notamment l'usage de renaturation (par exemple : éviter ou réduire les zones destinées aux infrastructures, logements, etc.).

30 Schwartz C. (coord.) *et al.*, 2024, *op. cit.* ; Shankar M. *et al.* 2024. "Unearthing the role of soils in urban climate resilience planning." *Nature Sustainability* 7(11), 1374–1376. DOI 10.1038/s41893-024-01436-1 ; Vieillard C., 2024. *Désimperméabilisation des sols urbains : états des lieux des pratiques et mises en œuvre de génie pédologique pour restaurer des services écosystémiques*. Thèse de doctorat en sciences de la Terre et de l'Environnement. Institut Agro Rennes-Angers.

31 Delgado-Baquerizo M. *et al.*, 2025. « Soil biodiversity and function under global change. » *PLoS Biology* 23(3): e3003093.

32 Tan J.K.N. *et al.*, 2021. « The urban heat island mitigation potential of vegetation depends on local surface type and shade. » *Urban Forestry & Urban Greening*. 62 : 127128

33 Harvey G.L., Henshaw A.J., 2023. « Rewilding and the water cycle. » *Wires Water*. 10 (6) : 1686.

34 Mougi A., 2020. « Coupling of green and brown food webs and ecosystem stability. » *Ecology and Evolution*. 10(17) : 9192–9199.

35 Deboeuf De Los Rios G., Barra M., Grandin. G., 2022. *Renaturer les villes. Méthode, exemples et préconisations*. ARB idF, L'Institut Paris Region.

36 CDC Biodiversité et Office Français de la biodiversité, 2022. *Renaturer les sols, des solutions pour ménager les territoires*. Castaing J., Monod K., Noreve V., Dossier de la MEB n°42, Mission Economie de la biodiversité, Paris, France, 60p.

37 Fédération des SCoT, 2024. *Renaturer, principes et méthodologie*. 104 pages.

UN OUTIL D'ACCOMPAGNEMENT POUR LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

Le **Référentiel Renaturation** vise à accompagner les porteur-ses des projets :

- dans l'aide à la conception du projet de renaturation en fonction des caractéristiques initiales du site, et de son usage final et des objectifs de la maîtrise d'ouvrage ;
- dans l'anticipation des arbitrages techniques liés à la mise en oeuvre du projet de renaturation, à partir de critères d'aide à la décision ;
- dans leurs échanges avec les acteurs techniques, en offrant notamment un accompagnement à la rédaction des cahiers des clauses techniques et particulières (CCTP).

Le référentiel détaillé est accompagné d'un outil numérique d'aide à la décision.

UNE DÉMARCHE DE CO-CONSTRUCTION DE L'OUTIL

Cet outil, conçu et piloté par l'Institut de la Transition foncière, a bénéficié du soutien d'ARP Astrance, d'Icade et de l'Ademe.

Il a fait l'objet d'une première phase de cadrage entre les différents partenaires de l'outil, puis d'une phase de cinq groupes de travail avec des organismes publics, privés, associatifs et académiques du monde de l'aménagement, de l'urbanisme et de la gestion des sols (une trentaine de structures associées). Cette étape a donné lieu à une première version du **Référentiel Renaturation**. Celle-ci a été confrontée au terrain lors d'une phase d'expérimentation. Les retours de cette phase d'expérimentation (se référer à la partie *Expérimenter le Référentiel Renaturation*) ont permis de structurer la version finale de l'outil numérique.

STRUCTURE DU RÉFÉRENTIEL

Ce référentiel s'articule en suivant les différentes étapes d'un projet de renaturation :

1. Définir son projet de renaturation ;
2. Réaliser son projet de renaturation ;
3. Évaluer son projet de renaturation.

La structure du référentiel suit une logique en entonnoir, du général au plus spécifique : la lecture ne suit pas nécessairement un sens chronologique. Elle peut se faire par section du référentiel, en fonction de l'avancée du projet. La partie « Évaluer » notamment peut être mobilisée dès l'amont d'un projet de renaturation, afin d'anticiper les diagnostics et la stratégie de suivi.

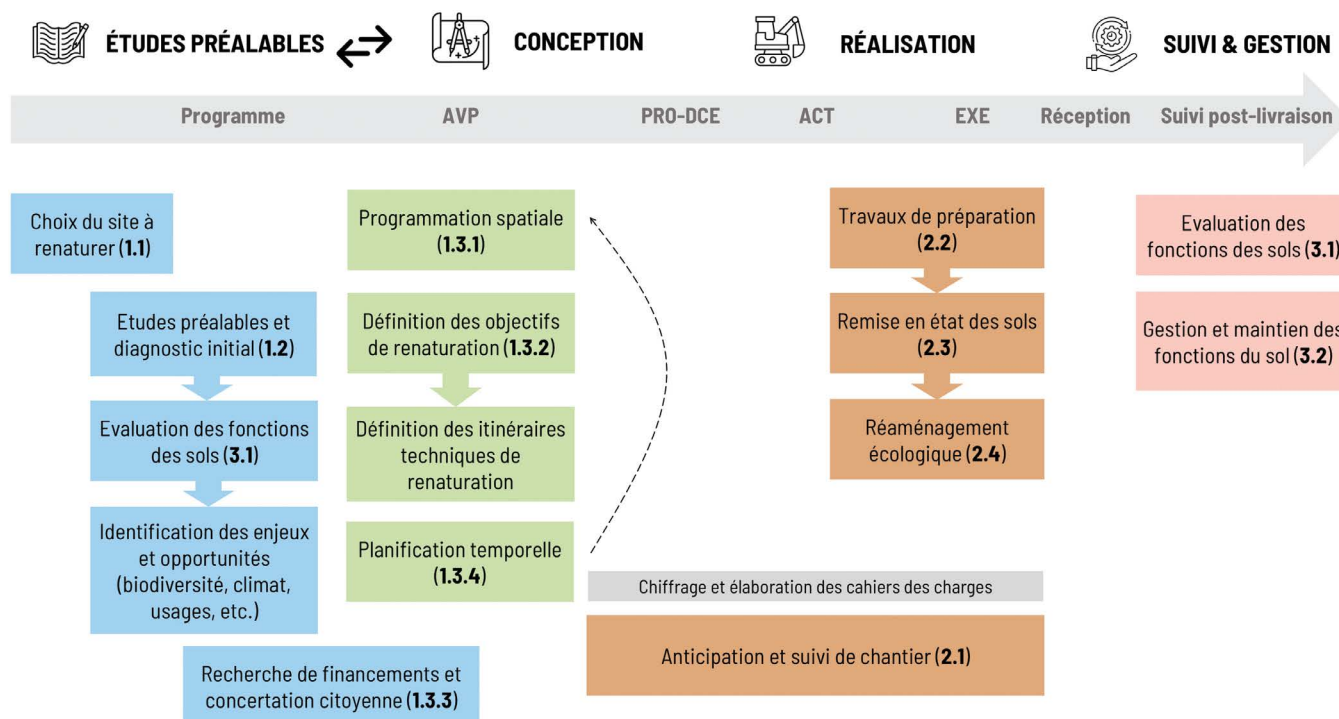


Figure 4 : Structure du référentiel en fonction de la chronologie du projet de renaturation © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière

Acronymes : AVP (étude d'avant-projet) ; PRO-DCE (étude de projet pour le dossier de consultation des entreprises) ; ACT (Assistance pour la passation des contrats de travaux) ; EXE (études d'exécution).

Pour aller plus loin

Abécédaire de la renaturation – FNAU, 2024

Renaturer les villes – ARB Ile-de-France, 2022

Renaturer les sols, des solutions pour des territoires durables – CDC Biodiversité, OFB, 2022

Renaturer – Fédération des SCoT, 2024

Restaurer les fonctions des sols ? Approches scientifiques et perspectives interdisciplinaires – Cahier de la Chaire Transition Foncière, 2024

Définir sa stratégie de renaturation

Pour garantir le succès d'un projet de renaturation, il est essentiel de définir une stratégie complète, en prenant en compte et anticipant **toutes les étapes du projet**. Cette stratégie repose sur l'analyse approfondie du site choisi, incluant son historique, sa géologie, son hydrologie et ses caractéristiques écologiques.

Il est crucial de fixer clairement les **objectifs et enjeux de la renaturation**, qu'ils soient environnementaux, sociaux ou économiques, et de les hiérarchiser. Le dimensionnement du projet doit être réaliste, en **planifiant** rigoureusement les étapes de renaturation, les **techniques de génie écologique mises en œuvre**, ainsi que les **besoins humains et financiers**.

La définition d'un projet de renaturation devrait également intégrer :

- **La participation des parties prenantes** : Impliquer les acteur-ices du territoire, les riverain-es, les associations et les scientifiques permet de recueillir des connaissances précieuses, de favoriser l'adhésion au projet et d'assurer sa pérennité ;
- **Le suivi et l'évaluation** : Mettre en place des indicateurs de suivi pour mesurer l'efficacité des actions de renaturation, évaluer l'atteinte des objectifs et ainsi ajuster la stratégie si nécessaire (se référer à la partie *Évaluer son projet de renaturation*) ;

- **La gestion à long terme** : Prévoir les modalités de gestion et d'entretien du site renaturé, afin de garantir sa durabilité et de maximiser ses bénéfices écologiques ;
- **L'adaptation au changement climatique** : Anticiper les impacts du changement climatique sur le site et intégrer des mesures d'adaptation pour renforcer la résilience des milieux refunctionalisés ;
- **La communication et la sensibilisation** : Informer les riverain-es et usager-es du site sur les enjeux de la renaturation, les bénéfices attendus et les actions mises en œuvre, afin de favoriser l'appropriation du projet et de sensibiliser à la protection de la biodiversité et au traitement et à la gestion des pollutions.

En définissant son projet, il est impératif d'intégrer les bonnes expertises au bon moment, permettant d'appréhender l'ensemble des enjeux à chaque étape (Figure 5). En effet, la conception du projet nécessite des études préalables et des connaissances sur la faisabilité du projet et sa pertinence. L'intervention de pédologues, écologues, bureaux d'études sites et sols pollués, hydrologues, urbanistes, architectes et paysagistes dès les premières phases du projet est indispensable pour s'assurer de sa cohérence.

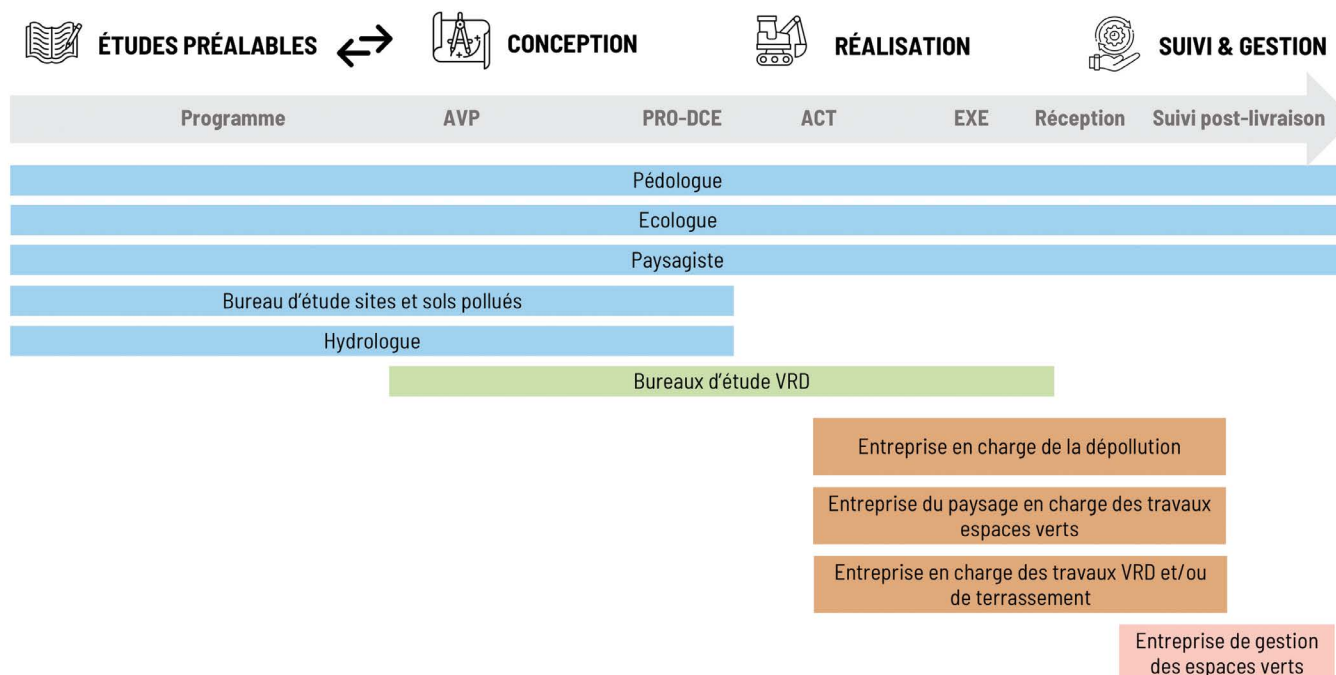


Figure 5 : Les métiers clés de la renaturation sollicités à chaque étape de projet © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière |

CHOISIR SON SITE À RENATURER

En bref

Qui ? #MOA et #AMO

Quelle phase de projet ? #Programme

Objectif : Prioriser le site à renaturer selon des critères techniques, environnementaux et réglementaires

Lorsque plusieurs possibilités existent, la priorisation du ou des sites à renaturer³⁸ est une étape stratégique qui doit être guidée par des critères précis et des outils adaptés. Ces critères permettent de comparer différents sites et d'orienter la décision en fonction de l'importance de chaque facteur. Lorsque l'ensemble des données sont collectées, les sites peuvent alors être comparés et priorisés selon les enjeux et critères.

La priorisation des sites n'est pas le cœur de ce référentiel, mais quelques points clefs ainsi que des ressources complémentaires sont présentés.

Le tableau 1 présente les principaux critères permettant de prioriser les sites à renaturer, ainsi que les ressources permettant d'identifier ces informations.

Tableau 1 : Tableau des critères pour le choix du site à renaturer

CRITÈRES DE CHOIX	SOURCES D'INFORMATION	PRIORITÉ FORTE	PRIORITÉ MOYENNE	PRIORITÉ FAIBLE
Statut foncier	Cadastre, titres de propriété, plans d'urbanisme, contacts avec les propriétaires.	Foncier disponible	En cours d'acquisition	Foncier non acquis
Effort technique	Selon état initial et projet : Études de sol, plans topographiques, inventaires des infrastructures existantes, avis d'experts techniques.	Faible	Moyen	Élevé
Surface désimper-méabilisable sur le site	Selon état initial et projet : Plans d'urbanisme, orthophotographies, relevés de terrain, estimation des surfaces imperméables.	Toute la surface	Plusieurs zones dispersées	Zones isolées et de petite taille
Temps nécessaire à la réalisation	Planification des travaux, disponibilité des ressources, complexité des interventions, retours d'expérience de projets similaires.	1-2 ans	5 ans	Plus de 5 ans
Gestion de l'îlot de chaleur urbain	Portail de l'artificialisation des sols, données de température, cartes de vulnérabilité, simulations thermiques, analyse de la végétation existante.	Risque élevé	Risque modéré	Faible risque



38 Pour un opérateur amené à arbitrer entre plusieurs fonciers disponibles, par exemple.

CRITÈRES DE CHOIX	SOURCES D'INFORMATION	PRIORITÉ FORTE	PRIORITÉ MOYENNE	PRIORITÉ FAIBLE
Régulation des inondations	PGRI, PPRI, AZI, cartes des zones inondables, données pluviométriques, études hydrologiques, analyse des réseaux de drainage.	Risque élevé	Risque modéré	Faible risque
Approvisionnement en eau	Cartes des nappes phréatiques, données de qualité de l'eau, études de potentiel de recharge, analyse des réseaux d'eau potable, inventaires des points d'eau existants.	Potentiel de recharge des nappes, de stockage ou réutilisation existant et fort	Potentiel à développer ou modéré	Potentiel faible ou inexistant
Production alimentaire	Cartes des sols agricoles, données de qualité des sols, inventaires des friches agricoles, études de faisabilité d'agriculture urbaine, contacts avec les acteurs locaux.	Potentiel pour installer des potagers/ jardins partagés élevé Sol fertile	Potentiel modéré Sol à améliorer	Potentiel faible Sol peu adapté
Lutte contre l'érosion	Cartes des risques d'érosion, études de stabilité des sols, analyses de la végétation de berge, relevés de terrain, inventaires des ouvrages de protection.	Erosion forte, risques immédiats, berges instables	Érosion modérée ou risque potentiel	Faible érosion, stable
Continuités écologiques	Trame Verte et Bleue locale dans SRCE, ZNIEFF, Natura 2000, cartes des corridors écologiques, inventaires de la faune et de la flore, analyses de la connectivité des habitats.	Forte connectivité : proximité directe avec un réservoir ou corridor	Connectivité modérée : à proximité d'un corridor ou corridor potentiel	Faible connectivité : isolé ou séparé par un élément fragmentant majeur
Risques de pollution	Géorisques, BASIAS, BASOL, études de pollution des sols et des eaux, inventaires des sites industriels et des décharges, analyses de la qualité de l'air.	Risque faible	Risque modéré	Risque élevé
Besoins socio-économiques (accès à la nature, santé publique, bien-être, éducation, loisirs, tourisme)	Enquêtes de population, données démographiques, cartes des équipements publics, études d'impact social, contacts avec les associations locales, analyse des besoins exprimés.	Forte proximité avec les habitants, forte densité de population, fort potentiel d'usage	Proximité modérée, potentiel d'usage à développer	Faible proximité, faible potentiel d'usage
Cohérence avec les politiques publiques	Plans locaux et régionaux (PCAET, SRADDET). Stratégies nationales et européennes (SNB, Stratégie biodiversité 2030). Objectifs de développement durable (ODD). Documents d'urbanisme (PLU(i), SCoT).	Zone prioritaire à renaturer		

Des cartographies peuvent être réalisées pour synthétiser les informations à l'échelle d'un portefeuille d'actifs ou d'un territoire. À titre d'exemple, l'Institut Paris Région et l'Agence

régionale de la biodiversité d'Île-de-France ont cartographié les zones prioritaires à renaturer à l'échelle de la région. Ces données sont accessibles sur le site Cartoviz de l'Institut Paris Région³⁹ (Figure 6).

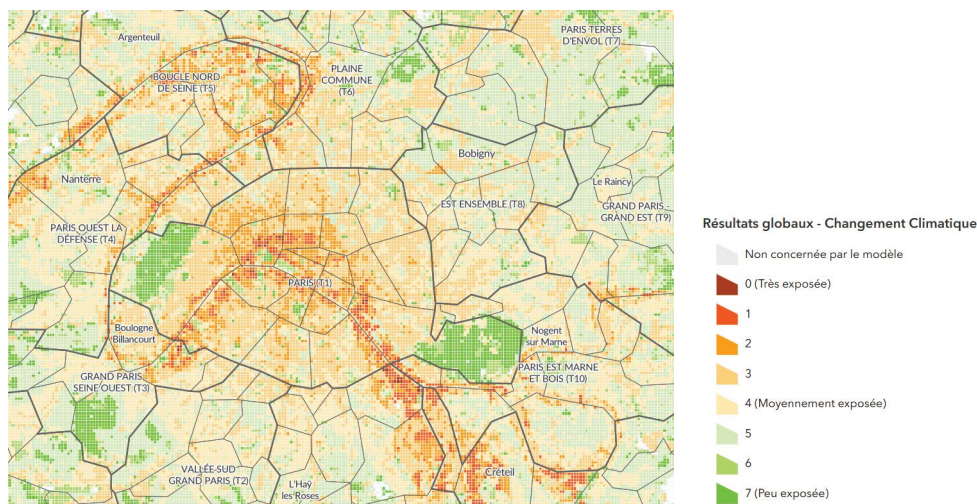


Figure 6 : Zones prioritaires à renaturer en Île-de-France, au regard de l'enjeu « changement climatique ». Extrait de l'outil Cartoviz | © Institut Paris Région, Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France, Projet européen REGREEN

Pour aller plus loin

Méthodologie pour identifier les secteurs à fort potentiel de renaturation : *Renaturer les villes, Méthodes, exemples et préconisations* - ARB Ile-de-France, 2022.

Carte indiquant les zones urbaines prioritaires pour la renaturation en Île-de-France : *Cartoviz*, Institut Paris Région

Concevoir une stratégie territoriale de renaturation des sols : *Renaturer les sols, des solutions pour des territoires durables* - CDC Biodiversité / OFB, 2022/

Outil d'analyse et d'aide à la décision pour accompagner les collectivités vers la sobriété foncière : *UrbanSimul*

Analyser le potentiel de connectivité d'un site : *Indice du Potentiel de Connectivité*, Gondwana, ARP Astrance

Outil d'aide à la décision pour la reconversion des friches : *Mutafriches*, ADEME

Base de données des analyses de sol urbain : *BDSolU*

Méthodologie en cas de présomption de pollution d'un sol : *Présomption de pollution d'un sol – des clés pour comprendre et agir*, Plante&Cité, 2018.

Définir le meilleur usage pour une friche : *BENEFRIQUES*, Ademe

RÉALISER LES ÉTUDES PRÉALABLES ET LE DIAGNOSTIC INITIAL

En bref

Qui ? #MOA, #Pédologue, #Écologue, #Hydrologue et #Expertises spécialisées

Quelle phase de projet ? #AVP et #Diagnostic

Objectif : Réaliser un diagnostic complet des caractéristiques physiques, biologiques et écologiques du site afin d'évaluer son potentiel de renaturation et de définir les actions appropriées.

Pour la réussite d'un projet de renaturation, la réalisation d'un diagnostic préalable est nécessaire. Ce diagnostic permet de collecter des données de base essentielles, telles que les fonctions du sol⁴⁰, la biodiversité existante ou encore les conditions hydrologiques⁴¹. Ces informations sont indispensables pour **planifier efficacement les interventions nécessaires** et garantir la **durabilité du projet**⁴².

Les expert-es référent-es de chaque étude doivent être mobilisé-es le plus tôt possible pour **anticiper les contraintes et orienter la conception**.

Si les études préalables représentent un certain investissement (10 % des coûts globaux des opérations d'après Plante & Cité – se référer à la partie *Estimer les coûts de la renaturation et identifier les leviers d'optimisation*), elles permettent d'anticiper les contraintes du site et d'optimiser les choix techniques. Cette approche réduit ainsi les risques d'imprévu et contribue à **maîtriser les coûts globaux du projet**, qu'il s'agisse de la conception, des travaux ou de l'exploitation. Pour limiter leur coût, ces études peuvent être menées en plusieurs étapes : une première analyse rapide (diagnostic « flash ») permet d'identifier les principaux enjeux et de cibler les **études complémentaires** réellement nécessaires.

En bref, les résultats des études initiales jouent un rôle central pour :

- Identifier les **contraintes techniques, réglementaires ou juridiques** ;
- Orienter les **actions de renaturation** vers les priorités écologiques et sociales ;

- Établir une base de référence pour le **suivi des indicateurs de succès** de la refonctionnalisation (se référer à la partie *Évaluer son projet de renaturation*).

Le tableau 2 donne une vision globale des études préalables à mener. Cette vision est un optimum, la priorité de chaque étude et la précision attendue varie en fonction des enjeux pré-identifiés, d'où l'importance d'effectuer un pré-diagnostic. Comme mentionné dans le tableau, certaines études sont réglementaires, c'est-à-dire obligatoires dans certains cas.



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique établit la liste des études préalables à réaliser dans le cadre d'un projet de renaturation.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je consulte les études préalables à réaliser ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

⁴⁰ Se rapporter à l'*annexe 3* pour la liste des fonctions.

⁴¹ CDC Biodiversité et Office Français de la biodiversité, 2022. *Renaturer les sols, des solutions pour ménager les territoires*. Castaing J., Monod K., Noreve V., Dossier de la MEB n°42, Mission Economie de la biodiversité, Paris, France, 60p.

⁴² Lothodé *et al.*, 2020, « Prendre en compte les services écosystémiques rendus par les sols urbains : un levier pour optimiser les stratégies d'aménagement ». *Étude et Gestion des Sols*, Volume 27, pages 361-376.

Tableau 2 : Les études préalables à réaliser dans le cadre d'un projet de renaturation (optimum)

ÉTUDES	DESCRIPTION	OBJECTIFS POUR LE PROJET	EXPERTISE À MOBILISER	CONDITIONS RÉGLEMENTAIRES SPÉCIFIQUES
ÉTUDES AGRO-PÉDOLOGIQUES	Analyse des caractéristiques physico-chimiques du sol par une analyse pédologique visuelle et/ou en laboratoire (voir focus ci-après)	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer la qualité des sols en place pour adapter les itinéraires techniques et la palette végétale. Déterminer le potentiel de réemploi des matériaux présents. Définir des pratiques de chantier limitant l'impact sur les sols. Maximiser la qualité / multifonctionnalité des sols du projet après intervention. 	Agro-Pédologue	Obligatoire si imposé par une réglementation locale ou un cahier des charges spécifique (par exemple projets en milieu agricole ou naturel protégé).
ÉTUDES ÉCOLOGIQUES DU SOL	Évaluation de la biodiversité des sols : abondance, diversité des organismes du sol, activité microbienne, activité de la microfaune, mésofaune et macrofaune, etc.	<ul style="list-style-type: none"> Identifier la biodiversité et l'activité biologique des sols. Évaluer le rôle des organismes du sol dans la refonctionnalisation. Orienter les pratiques pour préserver et renforcer la vie du sol. 	Écologue des sols	Obligatoire dans le cadre d'évaluations environnementales (étude d'impact, dossier loi sur l'eau, compensation écologique)
ÉTUDES DE POLLUTION (SITES ET SOLS POLLUÉS - SSP)	Analyse de la qualité des sols et des eaux souterraines pour identifier d'éventuelles pollutions et évaluer les risques pour la santé humaine et l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier la compatibilité des sols et des eaux souterraines avec l'usage prévu. Identifier et quantifier les polluants présents. Proposer des mesures pour limiter les risques de pollution et, si nécessaire, établir un plan de gestion. Anticiper les coûts et contraintes liés à la dépollution éventuelle. 	Sites et sols pollués, hydrogéologue si impact sur les eaux souterraines	Obligatoire en cas de suspicion de pollution (secteurs potentiellement pollués répertoriés, changement d'usage sensible, arrêté préfectoral, ICPE, etc.).
ÉTUDES GÉO-TECHNIQUES	Analyse des caractéristiques du sol en profondeur pour évaluer sa portance, sa stabilité et son comportement face aux contraintes du projet.	<ul style="list-style-type: none"> Déterminer les capacités portantes du sol pour adapter les fondations et limiter les risques de tassement. Identifier les contraintes géotechniques (présence d'argiles gonflantes, cavités, risques de glissements, etc.). Prévoir les mesures de confortement ou d'adaptation du projet si nécessaire. 	Géotechnique	Obligatoire dans certains cas (par exemple loi ELAN pour les constructions en zone d'argiles gonflantes)

Mutualiser ces diagnostics. Optimiser le nombre de relevés, à mettre en lien avec les fouilles archéologiques le cas échéant



ÉTUDES	DESCRIPTION	OBJECTIFS POUR LE PROJET	EXPERTISE À MOBILISER	CONDITIONS RÉGLEMENTAIRES SPÉCIFIQUES
DIAGNOSTIC HYDROLOGIQUE	Analyse des écoulements, de l'infiltration et du stockage de l'eau sur site pour anticiper les impacts du projet et adapter la gestion des eaux pluviales	<ul style="list-style-type: none"> • Prévenir les risques d'inondation et d'érosion. • Optimiser l'infiltration et la gestion des eaux pluviales. • Assurer la compatibilité avec les contraintes réglementaires. 	Hydrologue, ingénierie en gestion des eaux	Obligatoire selon les exigences de la loi sur l'eau, du PLU, du SDAGE ou en zone soumise au risque d'inondation
ÉTUDES DES RÉSEAUX	Identification des réseaux souterrains existants (eau, électricité, gaz, assainissement, télécoms) et analyse de leur compatibilité avec le projet	<ul style="list-style-type: none"> • Prévenir les risques de conflit avec les réseaux existants. • Anticiper les éventuels déplacements ou renforcements nécessaires. • Garantir la faisabilité technique des aménagements. 	VRD (Voirie Réseaux Divers), géomètre	Obligatoire en phase travaux via la procédure DT-DICT (Déclaration de Travaux et Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux)
ÉTUDES ÉCOLOGIQUES FAUNE-FLORE-HABITATS	Analyse de l'état initial écologique du site et de son contexte, identification des impacts potentiels du projet sur les milieux en place, définition de mesures pour limiter cet impact et favoriser la biodiversité sur le projet, à chacune des phases	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter les impacts du projet sur la biodiversité sur site et alentour. • Favoriser la faune et la flore locale sur le projet. • Prendre en compte les continuités écologiques dans la conception. • Encourager les pratiques de génie écologique. 	Écologue, Naturaliste	<p>Souvent obligatoire dans plusieurs cadres réglementaires liés au code de l'environnement : en cas d'atteinte à une ou plusieurs espèces protégées (L. 411-1 et suivants), pour les projets soumis à étude d'impact (R. 122-2), si le projet a une incidence sur une zone Natura 2000, si un dossier loi sur l'eau est requis, en cas d'autorisation de défrichage, etc.</p> <p>Dans le cadre de la clause filet, tout projet ayant un impact sur l'environnement peut être soumis à étude d'impact, même s'il ne rentre pas dans les critères de l'article R. 122-2.</p>

— A coupler à l'étude pédologique pour affiner les préconisations

— Fortement recommandé en phase diagnostic pour anticiper les contraintes de réseau



ÉTUDES	DESCRIPTION	OBJECTIFS POUR LE PROJET	EXPERTISE À MOBILISER	CONDITIONS RÉGLEMENTAIRES SPÉCIFIQUES
DIAGNOSTIC ZONE HUMIDE	<i>[Volet spécifique de l'étude écologique]</i> Identification, délimitation et caractérisation des zones humides sur le site sur la base de critères floristiques et/ou pédologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter l'impact du projet sur les zones humides. • Intégrer la restauration de zone humide dans le projet. 	Écologue ou Pédologue	Obligatoire. Critères à retenir pour la définition des zones humides mentionnés à l'article L. 211-1 du code de l'environnement.
ÉTUDES PAYSAGÈRES	Analyse du contexte paysager et proposition d'intégration harmonieuse du projet dans son environnement, en tenant compte des enjeux écologiques et culturels	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer l'intégration du projet dans son contexte paysager • Proposer un projet fonctionnel et adapté aux usages souhaités • Connaître les caractéristiques du terrain pour prévoir un aménagement paysager résilient et adapté au terrain 	Paysagiste, Urbaniste, Écologue	Non obligatoire
DIAGNOSTIC AMIANTE	Recherche et identification de la présence éventuelle d'amiante dans les bâtiments, structures ou sols concernés par le projet	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer la sécurité des travailleur-ses et de l'environnement • Planifier les éventuelles opérations de désamiantage • Ajuster le potentiel de réemploi de certains matériaux comme les enrobés 	Diagnostiqueurs amiante certifiés	Obligatoire lorsque le site implique un bâtiment ou des enrobés construits avant juillet 1997
DIAGNOSTIC RÉEMPLOI / PRODUITS, ÉQUIPEMENTS, MATÉRIEAUX ET DÉCHETS (PEMD)	Analyse des éléments à déconstruire ou réutiliser lors des travaux, incluant l'identification des matériaux valorisables, recyclables ou à éliminer	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les matériaux à réemployer dans le projet, en particulier dans le projet paysager • Assurer la gestion réglementaire des déchets de chantier 	Expert-e économie circulaire, Ingénierie environnementale	Obligatoire pour les projets de démolition ou réhabilitation de plus de 1 000 m ² ou impliquant certains seuils de volumes de déchets (Code de l'environnement, loi AGEC de 2020)
ANALYSE DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX	Identification des aléas naturels pouvant affecter le projet	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre en compte les risques naturels dans la conception du projet afin de garantir sa durabilité, la sécurité des infrastructures et le respect des réglementations locales 	Ingénierie environnementale, géotechnique, hydrologie, etc.	Obligatoire si imposée dans le cadre d'un PPRN (Plan de Prévention des Risques Naturels)

A coupler à l'étude pédologique pour les critères d'hydromorphie du sol

FOCUS

ÉVALUER LA FONCTIONNALITÉ DES SOLS À L'ÉTAT INITIAL : LE DIAGNOSTIC AGRO-PÉDOLOGIQUE

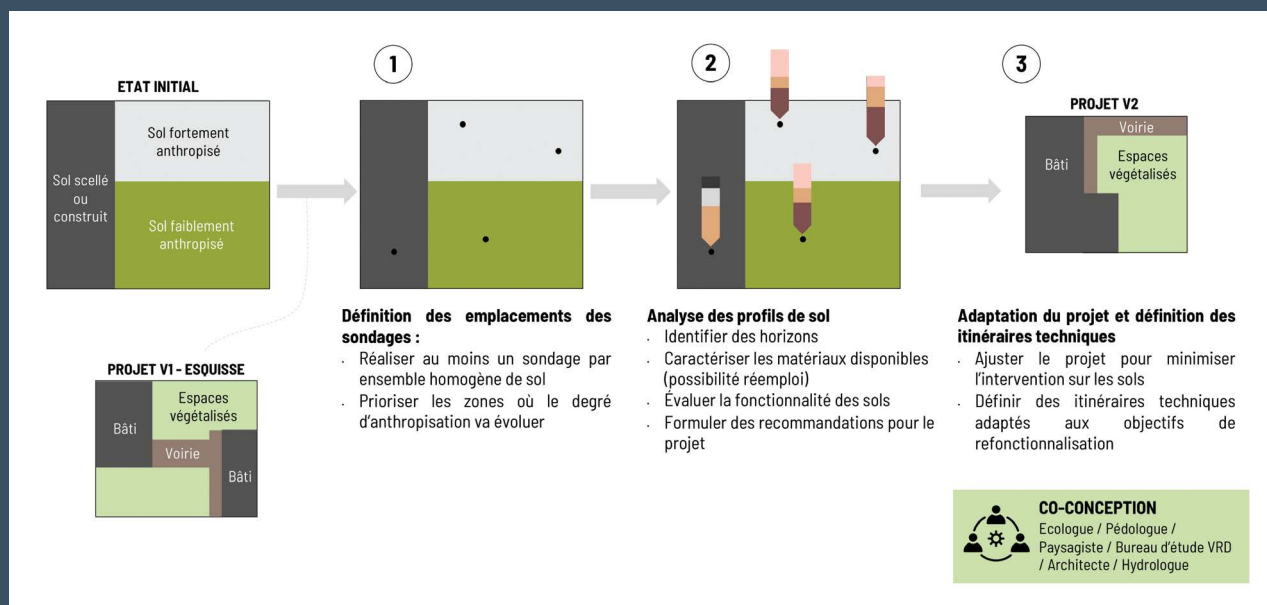


Figure 7 : Mise en oeuvre du diagnostic agro-pédologique © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière d'après DESTISOL (ADEME)

DÉFINITION DES EMPLACEMENTS DES SONDES PÉDOLOGIQUES

Le choix des emplacements des sondages est une étape clef pour obtenir une vision représentative des sols du site. Il est recommandé de réaliser **au moins un sondage par ensemble homogène de sol** afin de bien différencier les unités pédologiques présentes. Pour définir ces zones homogènes, il faut se baser sur une recherche documentaire (historique, contexte géologique, hydrogéologique, topographie, analyse de photos aériennes) et une visite de terrain⁴³. A minima, l'effort doit être concentré sur les zones où le **degré d'anthropisation va évoluer**, par exemple les secteurs destinés à être renaturés, revalorisés ou modifiés en profondeur. Les choix techniques de réalisation de ces sondages (tarière, pelle mécanique, forage, etc.) sont également à adapter en fonction du site et des objectifs du projet.

ANALYSE DES PROFILS DE SOL

L'étude du sol repose sur une description du profil de sol (délimitation des différents horizons et description de leurs caractéristiques - structure, texture, couleur, éléments grossiers, traces d'hydromorphie, racines, activités biologiques). Les horizons sont ensuite prélevés pour des analyses de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques en laboratoire, selon les fonctions à analyser.

Le profil de sol peut être décrit dans une fosse creusée mécaniquement (pelle mécanique, carottier, etc.) ou manuellement (tarière). Les sondages à la tarière permettent également de voir et de prélever les différents horizons. Cependant, ils ne permettent pas de décrire certains paramètres (structure du sol, limite entre les horizons, etc.), une analyse complémentaire en laboratoire est souvent nécessaire.

Cette analyse porte sur différents paramètres permettant de caractériser la fonctionnalité des sols. Il est conseillé de se référer à la partie *Évaluer son projet de renaturation*, afin d'identifier les indicateurs pertinents à évaluer pour chacune des fonctions des sols, en fonction de différents critères (temporalité, sur le terrain ou en laboratoire, etc.).

L'analyse des profils permet d'étudier la structure et la composition des sols en vue de leur utilisation et de leur remise en fonction. Il est important de caractériser les différents **horizons** (couches de sol aux caractéristiques homogènes) afin d'identifier les **matériaux disponibles** et leur potentiel de réemploi. Cette analyse sert de **point de départ** pour définir son projet de renaturation.

PRÉCONISATIONS POUR LE PROJET

L'étude pédologique préconise des mesures pour adapter le projet aux sols du site. L'objectif est de **minimiser les interventions, préserver au maximum la fonctionnalité initiale des sols et maximiser le réemploi de matériaux *in situ***. Cette étude préfigure les **itinéraires techniques** nécessaires pour refunctionaliser les sols, et permet de formuler des recommandations opérationnelles fines sur les milieux écologiques (palette végétale, habitats écologiques, etc.) compatibles.

Les pédologues doivent également accompagner le projet en **conception et réalisation** pour affiner les orientations de l'étude, éventuellement les réajuster et s'assurer de leur succès.

Bonne pratique

La mutualisation de différentes études pour gagner du temps et maîtriser les coûts est recommandée. Par exemple, le diagnostic agro-pédologique peut être réalisé en même temps que les relevés géotechniques, le diagnostic pédologique des zones humides (ZH), le diagnostic sites et sols pollués, les fouilles archéologiques ou encore s'il est intégré à un diagnostic hydrologique.

La prestation de levée de doute (LEVE)⁴⁴ est destinée à identifier les sites ou des parties de sites qui ne sont pas réputés comme potentiellement pollués par des activités industrielles et/ou de service (par exemple : réserves foncières, parcelles boisées, etc.) ou par des pratiques susceptibles d'engendrer une pollution (par exemple : zone de dépôt de déchets, zone de remblais constitués de matériaux naturels ou anthropiques, zone d'épandage d'effluents ou de déchets, etc.). Elle permet de définir si un site relève ou non de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

44 La prestation LEVE est définie dans la partie 2 de la série de normes NF X31-620.

**Pour aller plus loin**

Connaître, choisir et étudier les indicateurs de qualité des sols : « Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs », Cousin et al., 2025 :

- Rapport d'étude, 780 pages.
- Synthèse du rapport d'étude, 126 pages.

La réglementation sur les sites et sols pollués : Guide pour les diagnostics des sites et sols pollués - Ministère de la Transition écologique, 2023.

Intégrer le diagnostic de sol dans son évaluation environnementale : « Mieux intégrer les sols dans la séquence « Éviter-Réduire-Compenser », Cortet et al., 2023.

Protocoles simples pour évaluer la santé des sols : Biofunctool, IRD et CIRAD.

Prendre en compte les services écosystémiques des sols : Les outils d'aide à la décision tels que DESTISOL ou SUPRA, développés par l'Ademe et visant à mieux prendre en compte les services écosystémiques fournis par les sols urbains dans les projets d'aménagement.

Programme de science participative pour le suivi de la qualité biologique des sols : QUBS

Se former sur les diagnostics de sols urbains : Institut Agro Rennes-Angers, Association française pour l'Étude du sol, UPGE, EODD ingénieurs conseils (anciennement Sol &co), INP ENSAT, ou encore formation de l'Institut de la Transition foncière « Connaître et mesurer la qualité des sols ».

DIMENSIONNER SON PROJET

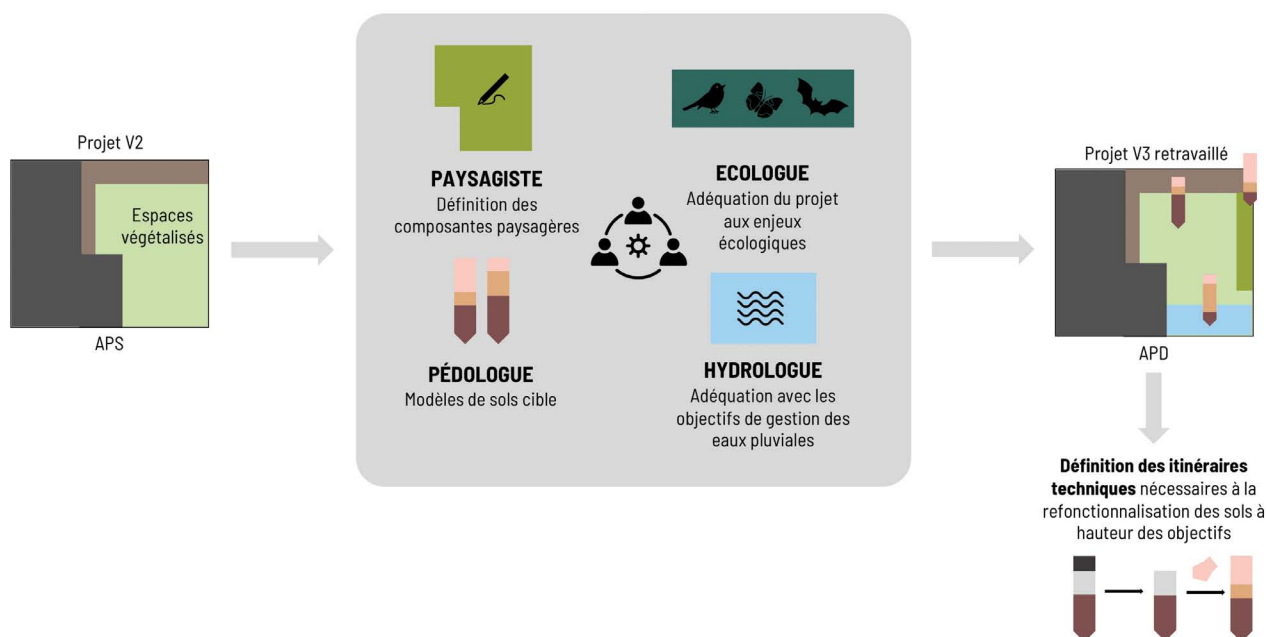


Figure 8 : Principe de co-conception d'un projet de renaturation ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière |

La phase de conception de la renaturation inclut la spatialisat ion du projet, l'élaboration d'un plan détaillé des interventions, l'estimation des coûts et la planification des travaux. Elle permet également d'anticiper les contraintes réglementaires, techniques et financières afin de garantir la viabilité et la cohérence du projet avant son passage à la phase opérationnelle. Cette phase doit s'appuyer sur les

résultats des études préalables. Le dimensionnement doit être réfléchi en **co-conception entre écologues, pédologues et paysagistes**, et, si nécessaire, les expert-es sites et sols pollués. Il peut aussi être pertinent d'intégrer des hydrologues dans la conception, notamment lorsque la gestion des eaux est un enjeu majeur du projet.

Spatialiser son projet

En bref

Qui ? #MOA, #Paysagiste, #Architecte, #Pédologue et #Écologue

Quelle phase de projet ? #Programme, #Esquisse et #AVP

Objectif : Différencier et spatialiser les objectifs de renaturation à l'échelle de son projet

MINIMISER L'EFFORT ET PRÉSERVER LES SOLS EN PLACE

L'état de dégradation des sols varie fortement en milieu urbain. Pour une approche cohérente et efficace, il est essentiel d'en tenir compte dès la spatialisation du projet. **Les sols peu ou non dégradés constituent une ressource précieuse à préserver absolument.** À l'inverse, les sols très altérés, voire totalement imperméables, nécessitent un effort considérable pour retrouver un fonctionnement écologique. Il

est donc plus pertinent de concentrer les nouvelles constructions sur ces zones fortement dégradées, afin de préserver au maximum les sols encore fonctionnels.

Pour connaître le degré de dégradation, et donc le niveau de fonctionnalité d'un sol, il est important de se référer aux études préalables. L'**étude pédologique** fournit des préconisations complètes sur le potentiel de réemploi des sols en place. Le Plan de gestion (PG) définit la ou les solutions techniques les plus adaptées pour maîtriser le risque sanitaire lié à la pollution des eaux, sols et airs.

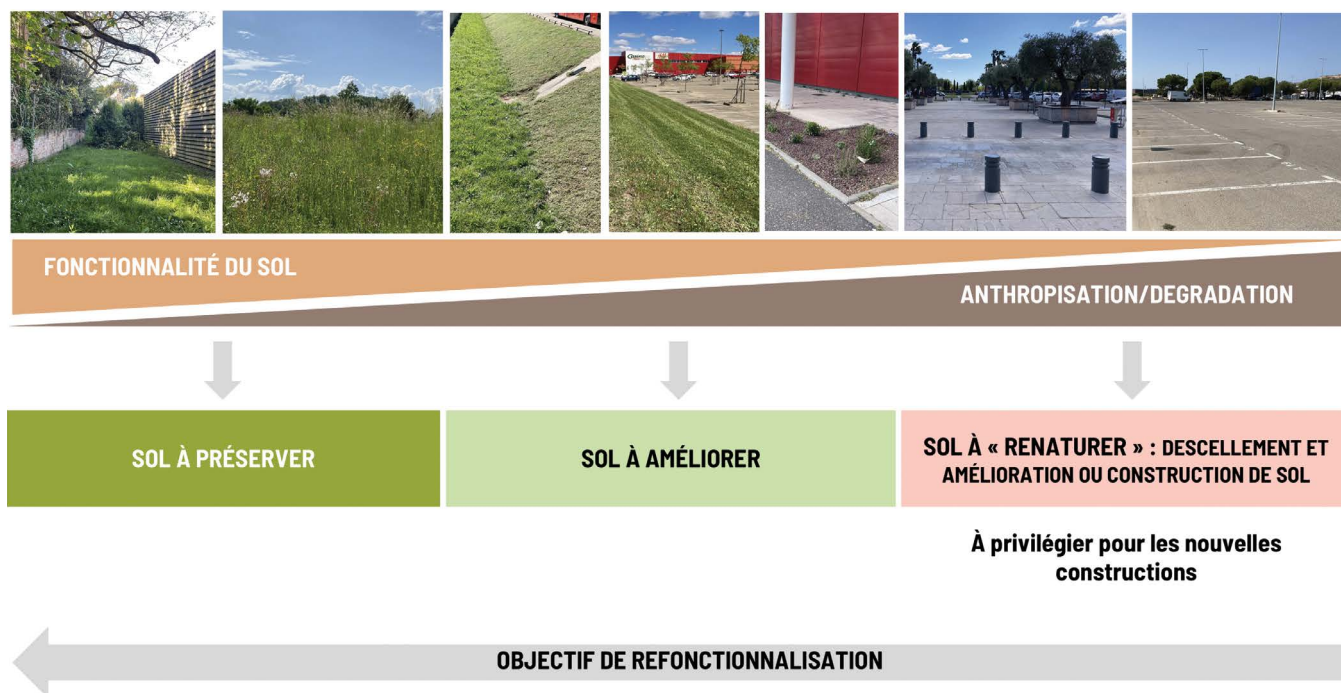


Figure 9: Actions à mener sur les sols selon l'état de dégradation initial de leurs fonctions ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière

Dans une optique de refonctionnalisation, les objectifs de renaturation permettant d'orienter les actions à mener doivent prendre en compte l'état actuel des sols (les dégradations potentielles) ainsi que les enjeux du projet (état final projeté - état écologique de référence à retrouver).

⚠ Point d'attention : État écologique de référence et renaturation

La renaturation ne désigne pas le retour à une « nature » qui se trouvait sur le site auparavant. En effet, l'état écologique historique du site est la plupart du temps peu connu ou inconnu.

Les projets de renaturation doivent prendre en compte le caractère dynamique des milieux écologiques, en considérant le type d'habitat qui aurait pu être présent sur le site s'il avait continué à évoluer spontanément sans intervention humaine, en fonction du contexte environnemental local.

Certains habitats peuvent présenter un intérêt pour un projet d'aménagement comme par exemple la restauration d'une zone humide, d'un bois, d'habitats côtiers, etc. Le milieu écologique visé peut être choisi parmi une liste de milieux écologiques types en cohérence avec le contexte écologique et pédoclimatique du site, les résultats du diagnostic agro-pédologique et du diagnostic pollution, et selon d'autres critères socio-économiques, politiques et culturels. Ces milieux à restaurer peuvent être déclinés suivant la typologie EUNIS⁴⁵ (parmi les unités les moins artificialisées, de A à H).

FOCUS

INTÉGRER LES SOLS DANS LA DÉMARCHE ERC

Introduite dans le droit français en 1976 par la loi sur la protection de la nature, la séquence **Éviter, Réduire, Compenser** (ERC) vise à limiter l'impact écologique des projets d'aménagement. La loi Climat et Résilience de 2021 et l'objectif Zéro Artificialisation Nette (ZAN) ont renforcé la prise en compte des sols en y appliquant ce même principe ERC. Les sols étant essentiels au bon fonctionnement des écosystèmes, ils devraient être directement intégrés dans les études réglementaires au même titre que la faune, la flore et les habitats. Pourtant, **leur analyse reste souvent absente des études d'impact**⁴⁶.

- **Éviter (E)** : prévenir la dégradation des sols dès la phase de conception. Un diagnostic pédologique en amont permet d'identifier les zones sensibles (pollutions, érosion, compaction) et d'adapter l'implantation du projet pour limiter l'emprise au sol. L'organisation des travaux et la gestion des engins doivent également être pensées pour minimiser les perturbations.

- **Réduire (R)** : limiter les impacts résiduels grâce à des techniques adaptées. Un travail du sol minimal, des amendements organiques et des dispositifs de gestion de l'eau favorisent le maintien de la fertilité et de la structure des sols. En parallèle, les risques de pollution doivent être maîtrisés par des mesures de dépollution et de protection des sols durant le chantier.

- **Compenser (C)** : restaurer ou recréer des sols fonctionnels lorsque les impacts sont inévitables. La réintroduction d'organismes du sol, l'apport d'amendements ou encore l'utilisation de techniques de génie écologique permettent de retrouver des sols vivants et productifs. Un suivi régulier est nécessaire pour ajuster les pratiques et garantir la réussite des mesures mises en place.

L'intégration des sols dans la séquence ERC est une approche essentielle pour limiter l'artificialisation et préserver leur rôle fondamental dans les écosystèmes. Il est important de bien appliquer la séquence dans l'ordre, et de ne pas négliger la première étape, « Éviter », afin de garantir sa pertinence⁴⁷.

45 Gayet G., Baptist F., Maciejewski L., Poncet R. et Bensettiti F., 2018. *Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS*, Agence française de la biodiversité.

46 Cortet J. et al., 2023. « Mieux intégrer les sols dans la séquence « Éviter-Réduire-Compenser » » *Étude et Gestion des Sols*, 30 (1) : 347- 363.

47 Voir notamment l'étude menée par la Communauté de communes des Coëvrons dans le cadre de l'AMI ZAN de l'Ademe, et la mise en place d'une séquence ERC dans le cadre de la stratégie ZAN du territoire. Communauté de communes des Coëvrons, « *FOCUS : Mise en place d'une méthode de scoring des gisements fonciers* », 2024.

SE CONNECTER À LA TRAME BRUNE : CONTINUITÉ DES SOLS FONCTIONNELS

Dans la spatialisation du projet, il est essentiel de considérer les connexions potentielles à la **trame brune locale**, c'est-à-dire la continuité tridimensionnelle des sols permettant aux organismes de réaliser tout ou partie de leur cycle de vie dans la pédosphère. La trame brune se décline à plusieurs échelles allant des micro-habitats (mousses, bois morts, pierres, rhizosphères, etc.) à l'échelle de la planification en passant par l'échelle du projet⁴⁸. Cette approche permet d'orienter l'implantation des zones de refunctionalisation en favorisant leur connexion avec des sols fonctionnels attenants. En plus de renforcer les continuités brunes locales, cette continuité facilite la recolonisation du sol restauré par les organismes du sol, un processus clef pour retrouver un fonctionnement écologique optimal (Figure 10).

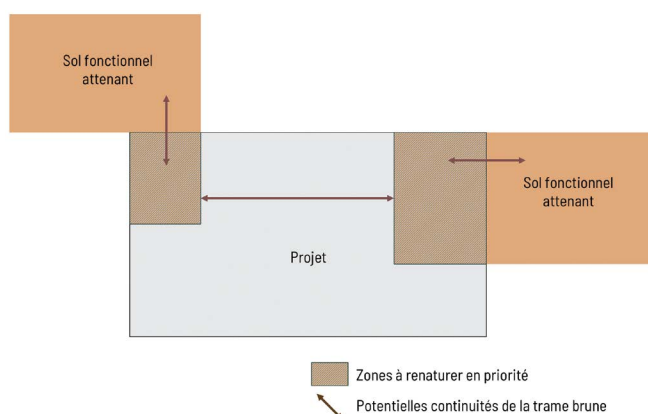


Figure 10: Schéma du principe d'implantation des zones renaturées pour favoriser la trame brune à l'échelle de son projet ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière

La recolonisation est un **phénomène progressif**. Les différents groupes d'espèces montrent des dynamiques de colonisation variables. La colonisation par les organismes du sol est relativement rapide (3-4 ans), selon les contextes. Elle se réalise à la fois de manière centripète (des milieux environnants) et centrifuge (par inoculation venant des matériaux d'apport, des mottes des plantations, etc.). De plus, les organismes les plus petits comme les micro-organismes proviennent généralement des matériaux d'apports

et de la présence du couvert végétal. Au niveau de la faune du sol, les nématodes puis les micro-arthropodes sont les premiers organismes à recoloniser les sols. La macrofaune arrive un peu plus tard, les lombriciens notamment sont les organismes les plus longs à coloniser. Ces principes restent généraux et dépendent de nombreux facteurs^{49,50}. À mesure que les organismes recolonisent le sol, un réseau trophique complexe se met en place⁵¹, jouant un rôle déterminant dans la structuration du sol et la restauration de ses fonctions écologiques⁵².

DÉFINIR LES USAGES À L'ÉCHELLE DE SON SITE EN ADAPTANT À L'ÉTAT INITIAL ET AUX ENJEUX PROJETÉS

L'aménagement d'un site implique une réflexion sur la **spatialisation des usages projetés** afin de préserver les sols et favoriser leur refunctionalisation. Plutôt que d'adopter une approche uniforme, il est essentiel d'adapter l'aménagement en fonction de l'état initial des sols, de leur potentiel écologique et des enjeux projetés. Cette différenciation permet d'intégrer un gradient de naturalité et d'optimiser à la fois les usages humains et la conservation des sols.

Un site peut être pensé selon un **gradient allant des espaces fortement aménagés aux zones préservées**, en fonction des caractéristiques des sols et des dynamiques écologiques locales :

- **Zones refuges, sol préservé** : espaces de conservation et de restauration des sols, refuges pour la biodiversité du sol. Ces espaces nécessitent une intervention minimale pour maintenir leur équilibre (boisements spontanés, prairies spontanées, zones humides) ;
- **Zones intermédiaires** : secteurs où les sols sont modérément altérés et peuvent être restaurés ou aménagés avec des techniques douces (sols végétalisés, stabilisés, infiltration des eaux pluviales) ;
- **Zones à usage intensif** : espaces dédiés aux infrastructures, aux cheminements ou aux activités nécessitant un sol stabilisé. Ici, la gestion des sols passe par des choix techniques permettant de limiter leur imperméabilisation et d'optimiser leur infiltration et leur porosité.

48 Vincent Q., et al., 2022. « Étude de la biodiversité des sols (macrofaune épigée) urbains et périurbains dans le cadre de la création d'une trame brune ». *Étude et Gestion des Sols*. 29, 275-294.

49 Cortet J., Beguiristain T., Charissou A.M., Chenot E.D., Corbel S., et al. 2013. *Early colonisation of a constructed Technosol by soil organisms after industrial site reclamation*. 7. International Conference of the Working Group on Soils in Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas (SUITMA) of International Union of Soil Sciences, Torun, Poland. 151 p. hal-02748977

50 Pruvost C., Mathieu J., Vallet J., Dubs F., Gigon A., Lerch T., Blouin M., 2025. « Technosols made of urban wastes are suitable habitats for flora and soil macrofauna ». *Ecological Engineering*. 211. 10.1016/j.ecoleng.2024.107457.

51 Livinus M.U. et al., 2024. « Role of Microbes in Soil Food Webs and Vegetation Development ». *Soil Microbiome in Green Technology Sustainability*. Springer, Cham. 107-132.

52 Philippot L. et al., 2024. « The interplay between microbial communities and soil properties. » *Nature Reviews Microbiology* 22 : 226–239.

Cette spatialisation doit être structurante dans la conception du projet, mais doit également être prise en compte pour la gestion future du site. La partie *Assurer le maintien et la gestion des sols* oriente sur les pratiques de gestion respectueuses des sols. En différenciant les usages à l'échelle d'un site, il devient possible de limiter l'impact sur les sols, tout en conciliant les objectifs du projet et la préservation des fonctions écologiques essentielles (Figures 11 et 13).

⚠ Point d'attention : Spatialisation des usages et pollution

Dans le cadre d'une pollution des sols, il sera nécessaire de s'assurer de la compatibilité des usages renaturation avec les pollutions en place sur le site. La gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines repose sur l'absence de risque sanitaire ou environnemental lié aux usages définis. Cette étude peut conduire à la mise en place d'une couverture végétale permettant de couper les voies de transfert vers l'humain et/ou la mise en place d'une restriction d'usage avec potentiellement une surveillance environnementale des milieux impactés (sols et/ou eaux souterraines). L'usage renaturation est défini dans le cadre d'une analyse multicritères intégrée dans le plan de gestion (bilan coût/avantage). Ce Plan de gestion (PG) peut conduire à différentes techniques d'intervention (retrait des pollutions concentrées, traitement sur site ou *in situ* des pollutions concentrées, gestion des pollutions non concentrées via l'utilisation des phytotechnologies, mise en place d'une couverture végétale, etc.).

Pour plus d'informations sur la gestion de la pollution, se référer à la partie *Gestion des pollutions*.



Figure 11 : Exemple de différenciation des espaces sur la base d'un « gradient de naturalité », applicable en conception et en gestion ©ARP Astrance



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique donne des pistes de réflexion sur la spatialisation des usages afin de préserver les sols, et favoriser leur refunctionalisation.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je réfléchis à la spatialisation de mon projet ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

 **Pour aller plus loin**

Analyse des continuités écologiques : Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE), Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), cartographies locales des trames vertes et bleues

Prise en compte de la trame brune :

- Note de cadrage de définition de la Trame brune, groupe de travail « Sols et génie écologique » de l'UPGE, 2021
- Présentation « Trame brune : pourquoi ? comment ? quelles limites ? » par Quentin Vincent - EODD ingénieurs conseils (anciennement Sol&co), journée technique de l'OFB, 2023.
- Guide des habitats pour la faune en milieu urbain, groupe de travail « Biodiversité Urbaine » de l'UPGE, 2024

Méthodologie de spatialisation des types de couverture du sol en fonction des caractéristiques pédologiques :

- Rapport DESTISOL : Les sols, une opportunité pour un aménagement urbain durable, ADEME, 2017

Compatibilité des usages avec la contamination des sols : Guide de l'INERIS : Méthodologie pour encadrer l'usage de renaturation dans la gestion des sites et sols pollués, 2025⁵³.

Hiérarchiser ses objectifs de refonctionnalisation

Dans le but d’orienter la conception du projet, et notamment les fonctions des sols à retrouver, cinq grands objectifs de refonctionnalisation sont proposés :

- **Accueillir la biodiversité** : fournir des habitats écologiquement fonctionnels, adaptés aux organismes végétaux et animaux (prairies, forêt urbaine, zone humide, etc.) ;
- **Améliorer la gestion des eaux pluviales** : maximiser l’infiltration et/ou le stockage des eaux pluviales, y compris lors d’événements pluvieux exceptionnels ;
- **Créer des zones cultivables** : garantir un sol de bonne qualité agronomique, pédologique et chimique (absence de risque sanitaire lié aux productions alimentaires) ;

- **Maximiser la fraîcheur** : favoriser la rétention en eau des sols, les échanges gazeux entre sol et atmosphère et maximiser une végétation évapotranspirante ;
- **Garantir l’appropriation des espaces par les usagers** : être un support de végétation qui soit adapté à l’usage du site, en termes de sécurité, d’esthétique, de pression liée à la fréquentation, etc.

Ces cinq grands objectifs ont été définis en s’appuyant sur des critères d’échelle spatiale. Ils visent ainsi des usages et des fonctions des sols restreints spatialement, qui viennent répondre à des enjeux et des besoins locaux pour les porteur-ses de projet. Au vu de sa portée globale, **le stockage de carbone** dans les sols n’est donc pas défini ici comme un objectif du projet de renaturation. Cependant, le CO₂ et les GES en général restent un enjeu transversal important à considérer dans les projets de renaturation.

De plus, l’enjeu de **gestion de la pollution** n’est pas considéré ici comme un objectif de renaturation, puisqu’il s’agit d’une **obligation réglementaire**. Pour toute question relative à la gestion de la pollution se référer à la partie *Gestion des pollutions*.

FOCUS

LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RENDUS PAR LES SOLS

Les objectifs de renaturation définis ici sont une traduction opérationnelle des services écosystémiques rendus par les sols à maximiser sur le projet. Pour rappel, ces services reposent sur les fonctions des sols, elles-mêmes régies par leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

L’articulation entre fonctions des sols et objectifs de refonctionnalisation sera davantage explorée dans la partie *Évaluer son projet de renaturation*.



Figure 12 : Services écosystémiques et fonctions du sol © FédéSCOT, à partir de *La fresque du sol*, Afes / ADEME, schéma adapté par l’Institut de la Transition foncière

La **hiérarchisation** de ces objectifs dépend des enjeux propres au site, déterminés à la fois par son état initial et par l'état projeté. Ces enjeux doivent être identifiés lors des études préalables (se référer à la partie *Réaliser les études préalables et le diagnostic initial*) et affinés à travers l'analyse des premiers éléments de conception, en s'appuyant sur les principes de spatialisation

précédemment définis (se référer à la partie *Spatialiser son projet*). Étant donné que les conditions et contraintes peuvent varier d'une zone à l'autre au sein du projet, il est essentiel **d'adapter la priorisation des objectifs en fonction des spécificités de chaque portion du site** (Figure 13).

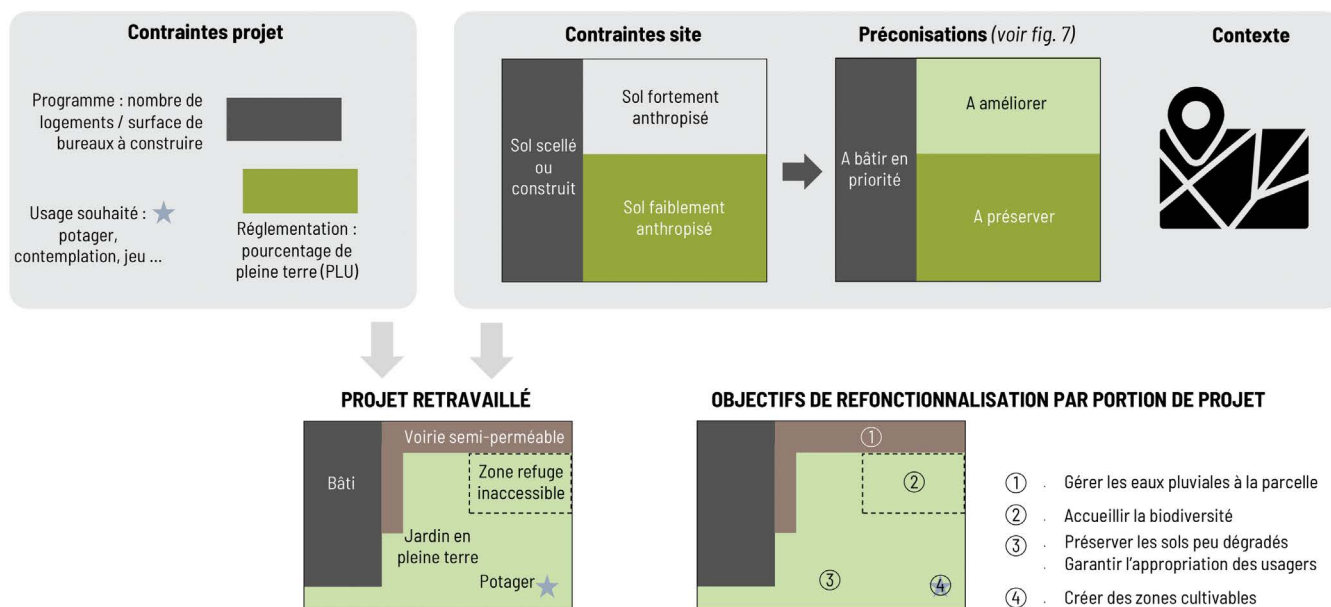


Figure 13 : Stratégie de hiérarchisation et de spatialisation des objectifs de re fonctionnalisation des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière

Le tableau 3 donne un premier aperçu de la priorisation des objectifs en fonction des différents facteurs.

OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

Une pondération plus précise de la priorisation des objectifs de votre projet vous sera donnée en mobilisant l'outil numérique du référentiel.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je définis ma stratégie de suivi en fonction des objectifs de mon projet ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

Tableau 3 : Hiérarchiser ses objectifs de refunctionalisation

		OBJECTIFS PRIORITAIRES DE REFUNCTIONNALISATION				
FACTEURS	OÙ TROUVER L'INFORMATION ?	Accueillir la biodiversité	Gérer les eaux pluviales	Maximiser la fraîcheur	Garantir l'appropriation des futurs usagers	Créer des zones cultivables
Zone inondable	PPRi annexé au PLU(i)/, Etude hydrologique		✓			
Zone de fragilité des réseaux d'assainissement	Zonages d'assainissement annexés au PLU / PPRi / SAGE / SDAGE / Site Géorisques / Etude hydrologique		✓			
Zone humide potentielle ou avérée	Carte des milieux potentiellement humides de France (Institut Agro Rennes Angers) / Cartographie nationale des milieux humides (patriNat) / Etude écologique	✓	✓			
Ouvrage de gestion existant : bassin étanche, réseau canalisé, etc.	Carte des réseaux hydrographiques (Géoportail) / Etude hydrologique		✓			
Zonage d'intérêt écologique : ZNIEFF, ZICO, PNR, PN (aire d'adhésion comprise), Natura 2000, etc.	Couches SIG de l'INPN (PatriNat) / Etude écologique	✓				
Présence avérée ou potentielle d'espèces ou d'habitats à enjeu	Etude écologique / Bases de données naturalistes (PatriNat)	✓				



		OBJECTIFS PRIORITAIRES DE RE FONCTIONNALISATION				
FACTEURS	DANS QUELS DOCUMENTS TROUVER L'INFORMATION ?	Accueillir la biodiversité	Gérer les eaux pluviales	Maximiser la fraîcheur	Garantir l'appropriation des futurs usagers	Créer des zones cultivables
Zone de potentiel de connectivité à la trame verte et bleue	SRCE / SRADDET / Cartographies locales des trames vertes et bleues / Atlas de la biodiversité communale / Etude écologique	✓				
Zone à forte sensibilité à l'îlot de chaleur urbain	ArcGis (Cerema) / Carte interactive (Institut Paris Région)			✓		
Cette portion de site sera fréquentée par plus de 200 personnes par jour	Programme				✓	
Zone urbaine dense (densité > 250 hab./ha)	Etudes Insee / Etude urbaine			✓	✓	
Volonté d'intégrer un espace d'agriculture urbaine dans une portion du site	Programme / Opportunité locale / Projet alimentaire territorial				✓	✓

PRENDRE EN COMPTE LES RISQUES DANS LA DÉFINITION DES OBJECTIFS DU PROJET

Certains **facteurs de risque** ont des impacts forts sur le dimensionnement du projet, néanmoins leur impact sur la conception doit être appréhendé au cas par cas avec l'appui d'une expertise sol :

- **Nature du sous-sol particulière** : risque de dissolution (par exemple gypse), difficulté à infiltrer, etc. ;
- **Risque d'érosion** : favoriser la stabilisation par les racines, adaptation à faire au cas par cas ;
- **Risque incendie** : rester en conformité sur l'éloignement de la végétation vis-à-vis des bâtiments.

Le projet peut aussi être soumis à une **réglementation** apportant des contraintes à prendre en compte, par exemple :

- **ICPE** (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement), pour les activités présentant des risques ou nuisances : dimensionnement spécifique des ouvrages de gestion des eaux pluviales, installation d'ouvrages pour la gestion des incendies. Ces ouvrages ne sont pas toujours « renaturables » (voir tableau 4)
- **ERP** (Établissement Recevant du Public) et/ou **PMR** (Personnes à Mobilité Réduite) : les normes de sécurité et d'accessibilité peuvent impacter le choix de la végétation, la topographie, l'entretien, etc.

⚠ Point d'attention : Risques de dégradation supplémentaire des sols liés aux opérations de dépollution

Dans un projet de renaturation, il est nécessaire d'intégrer le diagnostic de la pollution des sols dans un cadre plus large d'évaluation de leur qualité avant et après les travaux de dépollution. En effet, **certains types de traitement proposés pour traiter la pollution peuvent impacter, modifier ou supprimer certaines caractéristiques écologiques ou pédologiques des sols** et donc influencer les fonctions associées. L'évaluation des fonctions du sol qui doivent être conservées/améliorées ou restaurées après mise en œuvre des travaux de dépollution ne peut donc pas toujours être effectuée au démarrage du projet de renaturation.

Une réflexion sur les interactions entre dépollution et renaturation doit donc être menée (se référer à la partie *Gestion des pollutions*).

- Si les fonctions du sol sont significativement impactées par le traitement de la pollution :
 - Quelles sont les zones (et donc les sols) qui sont impactées ou modifiées par l'opération de dépollution et qui devront être restaurées dans le cadre du projet de renaturation ?
 - Quelles sont les zones (et donc les sols) qui ne seront pas impactées par l'opération de dépollution ?
- Si les fonctions du sol ne sont pas ou peu impactées par le traitement de dépollution : Est-ce que ces fonctions doivent être améliorées au cours du projet de renaturation ?

💡 Pour aller plus loin

Analyse des risques sur le site projet :

- France et outre-mer : [Géorisques](#)
- Pour l'Île-de-France : [Cartoviz](#), Institut Paris Région





Analyse contextuelle du site (écologique, hydrologique, social, etc.) : [Géoportail](#) , [Cartes.gouv.fr](#)

Analyse du potentiel zone humide :

- [Cartographie interactive](#) - Institut Agro Rennes-Angers / INRAE
- [Cartographie nationale des zones humides](#) - PatriNat

Analyse de la sensibilité au risque d'îlot de chaleur urbain : [Cartographie des zones climatiques locales \(LCZ\)](#) - Cerema

Tableau 4 : Réglementation impactante pour les ouvrages de gestion des eaux pluviales ou d'incendie

TYPE DE BASSIN	DESCRIPTION	VÉGÉTALISATION	RÉGLEMENTATION IMPACTANTE	POINTS CLEFS
BASSIN HYDRAULIQUE 	Ouvrage de gestion des eaux pluviales, destiné à infiltrer et/ou stocker les eaux pluviales	Possible et recommandée sous conditions : végétation adaptée à l'hygrométrie, racines peu profondes si bâché, respect du fonctionnement hydraulique du bassin 	<ul style="list-style-type: none"> • Loi sur l'eau (code de l'environnement) • ICPE : déclaration/ autorisation • PLU et règlement d'assainissement : limitation du débit rejeté, du taux d'infiltration, définition des zones sensibles • Normes : gestion décennale/ vicennale/ trentennale/ centennale, entretien 	Respecter le dimensionnement imposé, éviter les interférences hydrauliques
BASSIN POMPIER 	Bassin de stockage d'eau claire à disposition pour les interventions des pompiers	Généralement non recommandée : possible sous validation (SDIS/ ICPE). Option : radeaux végétalisés avec conditions strictes (encrage, retrait, volume préservé)	<ul style="list-style-type: none"> • ICPE • Réglementations des assurances et SDIS 	Vérifier la conformité avec les autorités compétentes
BASSIN SPRINKLER 	Bassin récoltant des eaux d'extinction d'incendie issues des systèmes Sprinkler (souvent polluées)	Très complexe : hydrométrie variable, eaux polluées, faible acceptabilité réglementaire	<ul style="list-style-type: none"> • ICPE • Réglementations locales et SDIS 	Difficilement compatible avec des objectifs écologiques

Estimer les coûts de la renaturation et identifier les leviers d'optimisation

En bref

Qui ? #MOA et #Economiste

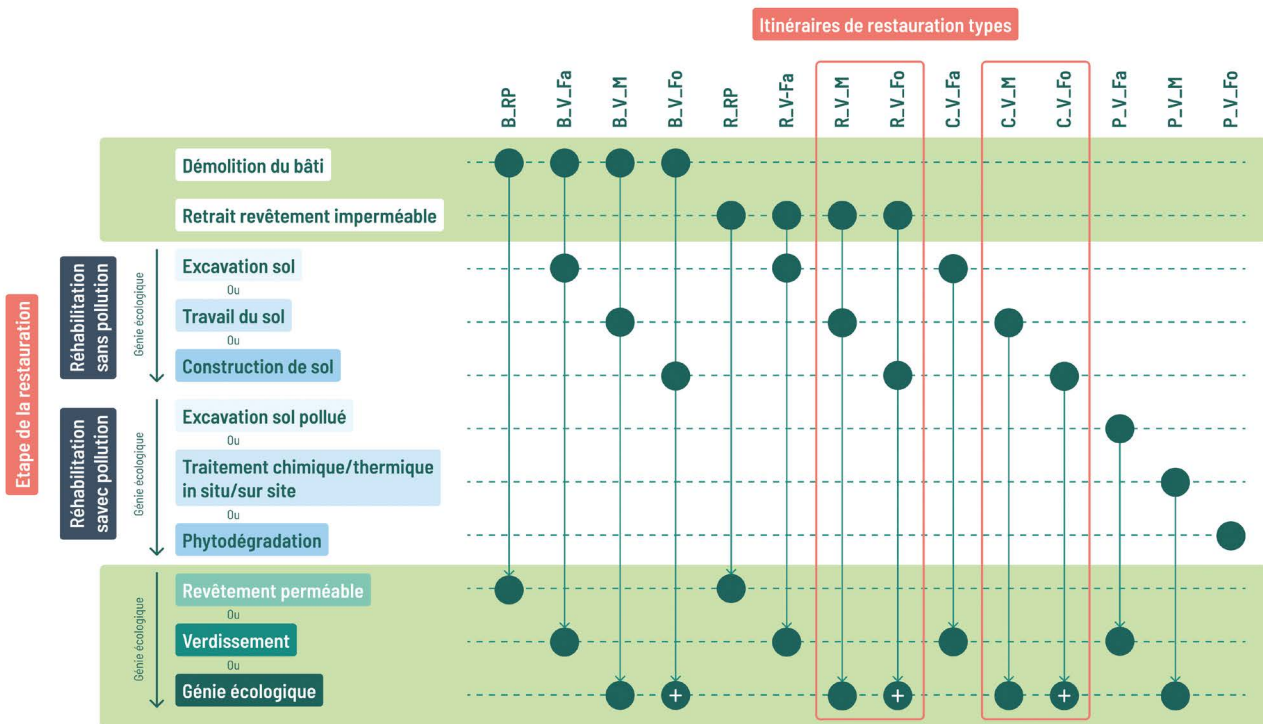
Quelle phase de projet ? #Programme et #AVP

Objectif : Identifier les leviers pour réduire les coûts de la renaturation des sols urbains tout en garantissant son efficacité écologique, et trouver des sources de financement adaptées au projet.

Les coûts médians de la renaturation hors dépollution sont estimés entre 50 et 320 €/m² ⁵⁴. Cette grande variabilité est due à la grande diversité d'itinéraires techniques, d'états initiaux et d'états projetés visés. Pour maîtriser ces coûts, il est crucial d'**anticiper les dépenses**, d'**identifier des financements adaptés** et d'**optimiser les interventions** pour limiter les coûts tout en garantissant l'efficacité écologique du projet.

ESTIMER LES ÉCHELLES DE COÛTS : COMPARAISON DES ORDRES DE GRANDEUR EXISTANTS

Les coûts de renaturation varient fortement en fonction du type de sol et des techniques employées (Figure 14).



Note de lecture : Le nom de chaque itinéraire a la structure suivante : EtatInitial_Etat_Final_IngénierieEcologique, où l'Etat initial peut être bâti (B), couvert d'un revêtement imperméable (R), compacté (C) ou pollué (P); l'Etat final peut être un revêtement perméable (RP) ou de la végétation (V); et enfin de recours à l'ingénierie écologique peut être faible (Fa), modéré (M) ou fort (Fo). Les cercles avec un signe "+" indiquent une ambition plus élevée en terme d'ingénierie écologique.

Figure 14: Diversité des itinéraires techniques employés dans les projets de renaturation © D'après Salin et al., 2025; adapté par l'Institut de la Transition foncière, Maëlle Giroud

Selon une étude réalisée à partir d'entretiens avec une cinquantaine d'acteurs du secteur⁵⁵, les coûts médians de restauration des sols urbains varient en fonction de l'état initial des sols. Pour les sols compactés, imperméabilisés ou construits, ces coûts se situent **entre 50 et 320 €/m²**. En revanche, **pour les sols pollués, les coûts peuvent dépasser les 800 €/m²**.

La restauration des sols urbains implique une séquence d'interventions comportant jusqu'à dix étapes, combinant diverses techniques. Cette diversité des approches entraîne une variation notable des coûts selon les types d'interventions. Parmi ces étapes, les études préalables représentent l'une des étapes les moins coûteuses, tandis que la démolition du bâti et l'assainissement du sol figurent parmi les interventions les plus onéreuses. Cette répartition des coûts souligne l'importance des spécificités de chaque projet et la nécessité d'une planification détaillée pour optimiser les dépenses liées à la restauration des sols urbains.

Dans le cadre du projet DESSERT⁵⁶, Plante&Cité a réalisé des sondages sur le coût des opérations de descellement. Les résultats ont révélé que les études préalables ne représentent que 10 % du coût total des opérations en moyenne. Le coût global, renseigné par 45 répondants, se répartit comme suit : 13 opérations à moins de 60 €/m², 16 entre 60 et 300 €/m², et 16 au-delà de 300 €/m²⁵⁷.

IDENTIFIER LES FINANCEMENTS : UN LEVIER CLEF POUR LA FAISABILITÉ DES PROJETS

Les projets de renaturation peuvent bénéficier de plusieurs sources de financement, dont voici une première liste non exhaustive :

- **Fonds publics, subventions et appels à projets :**
 - Banque des territoires : financements dans le cadre du programme d'investissement d'avenir (PIA 4), du programme Action Cœur de Ville (financement de l'ingénierie) ou des prêts Gaïa Territoriaux ;
 - ANRU (Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine) : financements de projets de renaturation au sein de projets de renouvellement urbain ;
 - Agences de l'eau : subventions d'actions ;
 - FEADER (Fonds européen agricole pour le développement rural) : finance principalement des actions en milieu agricole ou naturel (MAEC :

mesures agro-environnementales et climatiques) ;

- FEDER (Fonds européen de développement régional) : financement de projets dans le cadre du développement des territoires ;
 - Programme Life+ : volet de financement sur la nature et la biodiversité ;
 - Fonds Vert : financements au titre des mesures « recyclage foncier » et « renaturation des villes et des villages » ;
 - CDC Biodiversité : financements dans le cadre du programme Nature 2050 ;
 - ADEME : accompagnement des territoires à la mise en œuvre du ZAN ;
 - Office Français de la Biodiversité (OFB) ;
 - Collectivités territoriales : les Fonds régionaux pour la biodiversité et certains financements des départements peuvent accompagner des opérations de renaturation.
- **Fonds privés :** Entreprises engagées dans la transition écologique, promoteurs immobiliers ;
 - **Mécénat et partenariats :** Engagement d'entreprises via la RSE, fondations environnementales ;
 - **Vente d'UCRR** (Unités de compensation, de restauration et de renaturation) à toute personne publique ou privée, qui correspond au gain écologique des opérations menées sur les SNCRR (Sites naturels de compensation, de restauration et de renaturation) ayant fait l'objet d'un agrément préalable.

Bonne pratique

La fédération des SCoT, dans le cadre de son étude « Renaturer » (2024)⁵⁸, a listé un ensemble de sources de financement pour des projets de renaturation. Cette liste, assortie de précisions sur les démarches à entreprendre, peut être consultée [à ce lien](#).

55 *Ibid.*

56 Le projet de recherche DESSERT (DÉsimperméabilisation des Sols, Services Écosystémiques et Résilience des Territoires) porté entre 2021 et 2024 par le Laboratoire Sols et Environnement de l'Université de Lorraine, et financé par l'ADEME, le CIBI et l'OFB, s'est attaché à évaluer le potentiel de refonctionnalisation des sols, via leur désimpermeabilisation. Il a donné naissance à un guide publié par Plante&Cité en 2024, *Désimpermeabiliser les villes. Guide opérationnel pour (re)découvrir les sols urbains*.

57 Vieillard C., 2024. *Désimpermeabilisation des sols urbains : états des lieux des pratiques et mises en œuvre de génie pédologique pour restaurer des services écosystémiques*. Thèse de doctorat en sciences de la Terre et de l'Environnement. Institut Agro Rennes-Angers.

58 Fédération des SCoT, 2024. *Renaturer, principes et méthodologie*. 104 pages.

Il peut être pertinent de formaliser des partenariats pour partager les coûts :

- Mutualisation des ressources entre plusieurs maîtres d'ouvrage ou collectivités ;
- Contrats adaptés (marchés publics, conventions, partenariats public-privé).

Malgré les coûts d'entrée, les bénéfices de la renaturation sont nombreux sur le long terme, y compris en termes de dépenses futures évitées :

- Amélioration du cadre de vie : Espaces verts accessibles, îlots de fraîcheur ;
- Santé publique : Réduction de la pollution de l'air, bien-être psychologique ;
- Gestion des eaux : Infiltration et/ou stockage des eaux pluviales, réduction des risques d'inondation ;
- Valorisation foncière : Augmentation de l'attractivité des quartiers.

Ces bénéfices sont difficiles à quantifier financièrement. Cependant, la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) estime que les bénéfices de la restauration des sols sont jusqu'à 10 fois supérieurs à ses coûts⁵⁹.

ACTIONNER DES LEVIERS POUR RÉDUIRE LES COÛTS DE LA RENATURATION

Pour réduire les coûts liés à la refunctionalisation des sols, plusieurs leviers peuvent être considérés :

- **Adapter le projet au site pour limiter les interventions lourdes ;**
 - Conserver les sols existants et éviter les terrassements inutiles.
 - Réutiliser les surfaces scellées (par exemple : dalle béton) plutôt que de les démolir et d'en reconstruire.
 - Maîtriser les impacts liés à la pollution des sols : intégrer les critères écologiques dans les bilans coût/avantage afin d'adapter les solutions de gestion de la pollution aux usages renaturation.
- **Optimiser les matériaux et favoriser l'économie circulaire ;**
 - Réutiliser les matériaux présents sur site (pierres, terre, matériaux issus de la démolition du bâti, terres excavées, déchets verts) pour limiter les achats et les coûts liés à l'évacuation des déchets. Pour les ligneux, si le stade de développement et l'espèce le permettent, il est possible de prélever l'arbre et de le sauvegarder en pépinière pour l'implanter de nouveau sur le chantier. Cela permet de réduire l'abattage de végétaux.

- Récupérer des matériaux issus d'autres chantiers à proximité pour réduire les coûts d'extraction et de transport.
- S'approvisionner via des plateformes de valorisation (terres excavées, compost, matériaux recyclés ou biosourcés).
- **Réduire les coûts d'entretien post-livraison ;**
 - Favoriser la végétation spontanée pour réduire les achats et la plantation.
 - Dans le cas contraire, privilégier les jeunes plants. Ils sont moins chers à l'achat et ont une meilleure reprise racinaire.
 - Privilégier les milieux plus spontanés tels que les forêts et prairies, qui demandent moins d'entretien que des espaces verts classiques.
 - Planifier une gestion différenciée avec des interventions limitées et adaptées aux enjeux locaux.
 - Privilégier les espèces locales et prendre en compte les enjeux d'adaptation au changement climatique dans le choix des espèces végétales.

59 IPBES. 2018. *The IPBES assessment report on land degradation and restoration*. Bonn, Germany. 744 pp. www.ipbes.net.



Effets sur les coûts au m² : Les réduit Les augmente

Figure 15: Identification des principaux facteurs d'impact sur les coûts de la renaturation © visualisation adaptée par l'Institut de la Transition foncière, d'après Salin et al., 2025

Note de lecture : la taille des mots donne une idée de la fréquence à laquelle ils ont été mentionnés par les experts interrogés et les documents examinés. Il s'agit d'une visualisation à usage illustratif, qui ne dresse pas une synthèse exhaustive des résultats de l'étude. Pour plus d'informations, consulter l'étude de Salin et al. 2025.

💡 Pour aller plus loin

Quelle fourchette de coûts par étape du projet de renaturation ? Les coûts de la restauration des sols urbains. Salin et al., 2025.

Quels financements sont dédiés à la renaturation des sols ? Renaturer les sols – CDC Biodiversité / OFB

Financements potentiels de la renaturation : Liste de sources de financements, d'après l'étude « Renaturer, principes et méthodologie », Fédération des SCoT, 2024.

Quels coûts pour les opérations de descellement ? Désimperméabiliser les villes – Plante&Cité, 2024.

Plateforme de réemploi : Cycle up

Fournisseur de terre végétale issue de réemploi : Terre Utile, Terre fertile

Anticiper les différentes temporalités de son projet

En bref

Qui ? #MOA

Quelle phase de projet ? #Programme

Objectif : Anticiper les délais des différentes étapes du projet et avoir une vision sur les étapes nécessaires à la refonctionnalisation.

La refonctionnalisation des sols s'inscrit dans la conception et la réalisation de l'ensemble d'un projet. La durée de chacune des étapes dépend fortement de la complexité du projet, de la surface à refonctionnaliser, du contexte pédoclimatique et de l'hétérogénéité des

sols en place, et des parties prenantes. Des ordres de grandeur de ces temporalités sont donnés ci-dessous, ainsi que quelques indications sur les invariants à prendre en compte.

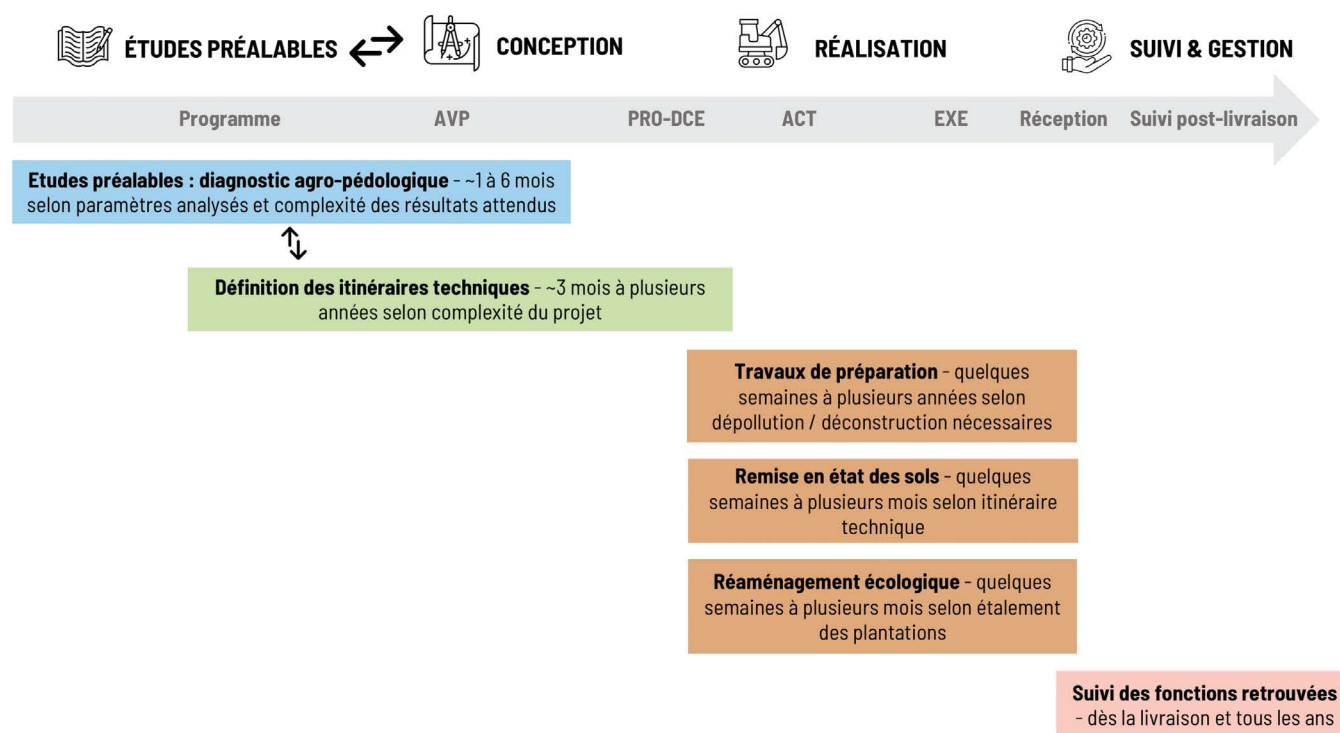


Figure 16: Temporalité d'une opération de refonctionnalisation des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière |

LA TEMPORALITÉ DES DIAGNOSTICS

- Diagnostic agro-bio-pédologique

Un diagnostic agro-pédologique peut être réalisé toute l'année, car la plupart des paramètres physico-chimiques sont mesurables en continu, sauf période exceptionnelle (forte pluie ou forte sécheresse). Cependant, certains indicateurs, notamment biologiques, varient selon la saisonnalité. Par exemple, l'analyse des **communautés de vers de terre, de la macrofaune (cloportes, carabes, fourmis, etc.), de la mésofaune (notamment collemboles), de**

la microfaune (notamment nématodes) et des micro-organismes (bactéries, champignons, etc.) doit idéalement être menée au printemps ou à l'automne, par temps sec, pour obtenir des résultats représentatifs. Attention également aux zones humides, qui, par le critère « sol » ne peuvent être détectées correctement en été ou en hiver.

- Diagnostic eaux souterraines

Le diagnostic pollution intègre des analyses sur les eaux souterraines (et sur les eaux superficielles et/ou sédiments). Ces diagnostics peuvent intégrer des campagnes de prélèvement sur plusieurs périodes de l'année (ex : en période de hautes et basses eaux) afin de mieux apprécier les transferts des polluants vers la zone saturée.

- Diagnostic faune/flore

Ce type de diagnostic peut nécessiter plusieurs campagnes d'observation et de terrain pouvant s'étaler sur une ou deux années : étude 4 saisons.

LA TEMPORALITÉ DES TRAVAUX

- Adapter le calendrier des travaux aux sensibilités écologiques

L'organisation des interventions doit intégrer les périodes sensibles pour la faune et la flore du site. Une analyse préalable permet d'ajuster le phasage des travaux pour limiter les impacts, par exemple en évitant les périodes de nidification des oiseaux ou la floraison de certaines espèces protégées, etc. Cet enjeu relève de la **réglementation environnementale** qui interdit toute atteinte à des espèces protégées ou habitats d'espèces protégées⁶⁰.

- Le bon timing pour la plantation

La réussite des plantations repose sur un calendrier adapté. En règle générale :

- Printemps : période propice pour les semis et la mise en place des vivaces ;
- Automne : idéal pour la plantation des arbres et arbustes, favorisant un bon enracinement avant l'été.

Il est essentiel de se fier aux recommandations du paysagiste et de l'écologue pour affiner ces choix d'espèces végétales en fonction des conditions environnementales.

⚠ Point d'attention :

La phytoremédiation - un processus long difficilement compatible avec la temporalité des projets d'aménagement

Le temps nécessaire pour réduire la charge polluante via des techniques de phytoremédiation, notamment des métaux lourds, n'est pas typiquement compatible avec la durée d'un projet d'aménagement (se référer à la partie *Gestion des pollutions*).

Une alternative consiste à sanctuariser certaines zones du site qui présentent des pollutions non concentrées ou à adapter les usages en fonction des niveaux de pollution afin d'atteindre une acceptabilité du risque sanitaire avec les usages de renaturation (par exemple : recouvrir certaines zones fréquentées par l'humain, sanctuariser des zones végétalisées uniquement destinées à accueillir une biodiversité végétale et animale).

60 Union Nationale des entreprises du paysage, Noé, Arthropologia, OFB, 2025. *Guide biodiversité à destination des entreprises du Paysage et des Gestionnaires d'espaces verts privés.*

Expérimenter le Référentiel Renaturation

POURQUOI UNE PHASE TEST ?

A la suite des cinq groupes de travail organisés dans le cadre du développement de l'outil, une première version du **Référentiel Renaturation** a été publiée dans un livrable intermédiaire en mai 2025.

Afin de confirmer l'opérationnalité de l'outil et les enjeux de son application sur des projets de terrain, une phase de tests a été entamée à l'été 2025.

Il s'agissait également d'éclaircir les obstacles à son fonctionnement le cas échéant, et les acteurs capables de le mettre en œuvre.

Les objectifs visés par la phase test étaient les suivants :

- Expérimenter différentes parties du Référentiel Renaturation et différentes étapes de l'outil numérique d'aide à la décision en fonction de l'état d'avancement des projets testés, pour confronter la construction théorique de l'outil avec les contraintes de terrain ;
- Vérifier l'adaptation de l'outil à plusieurs typologies de sites et de projets, à différentes échelles et temporalités ;
- Améliorer l'outil en vue du livrable final ;
- Collecter des éléments empiriques pour renforcer la pertinence de l'arbre de décision.

LES ACTEURS ET ACTRICES DE LA PHASE DE TEST

Deux premières expérimentations ont été réalisées à l'automne 2025, sur des opérations aux contextes très différents :

- Un ancien terrain de sport en friche depuis une dizaine d'années, en périphérie de l'agglomération lyonnaise (projet porté par La Poste Immobilier)
- Un parking de centre commercial, destiné à être transformé en quartier mixte à dominante résidentielle, en zone urbaine à Montpellier (projet porté par Icade)

D'autres tests ont été réalisés en autonomie par des partenaires.

La phase d'expérimentation se poursuit, afin de consolider l'outil numérique et de l'adapter à une pluralité de situations et de contextes locaux.

EXPÉRIMENTATION 1

RENATURATION D'UNE FRICHE SPORTIVE EN RÉGION LYONNAISE



Figure 17 : Evolution du site entre 2013 et 2025 © La Poste Immobilier, Essor Transitions |

CONTEXTE

PORTEUR DU PROJET

La Poste Immobilier

OÙ

Communes de Bron et Saint-Priest (69)

SUPERFICIE DU SITE

8,9 ha

USAGE ACTUEL DU SITE

Friche sportive (depuis une dizaine d'années)

CONTEXTE URBAIN

En périphérie urbaine, à proximité de grands axes routiers, inscrit au sein d'un territoire en reconquête paysagère

USAGE PROJETÉ

Renaturation, agrivoltaïsme

PHASE DU PROJET

Phase amont, étude de faisabilité et exploration des conditions réglementaires, écologiques et pédologiques

TEMPORALITÉ DU PROJET

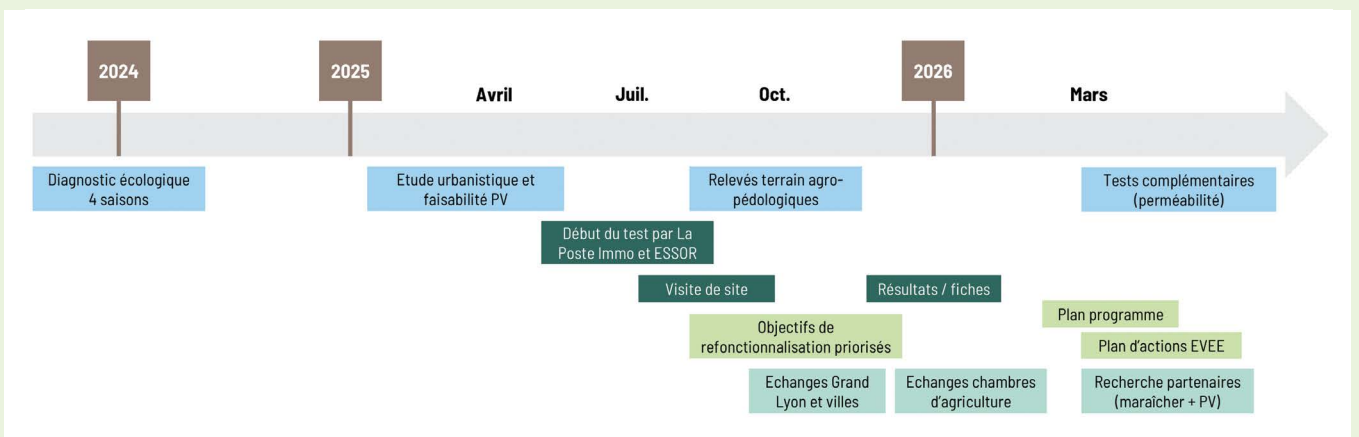


Figure 18 : Temporalité du projet © La Poste Immobilier, Essor Transitions |

RÉSULTATS

UN TEST DÉCISIF POUR STRUCTURER L'ACTION ET CLARIFIER LES PRIORITÉS

Le test du référentiel a joué un rôle central dans la mise en cohérence des démarches de renaturation. Il a permis d'organiser de manière rigoureuse l'intégration du sol dans la gouvernance foncière, de renforcer la robustesse des diagnostics écologiques et pédologiques, et de définir des objectifs de refonctionnalisation adaptés aux enjeux spécifiques du site.

UN OUTIL QUI A TRANSFORMÉ LA COMPRÉHENSION ET LA GESTION DES SOLS

Sa mise en œuvre a produit des avancées déterminantes :

- Une définition commune et opérationnelle de la renaturation, recentrée sur la restauration fonctionnelle des sols ;

- Un enrichissement substantiel des diagnostics, grâce à une campagne agro-pédologique approfondie, offrant une connaissance fine de la structure, de la fertilité et de la biodiversité des sols ;
- La hiérarchisation des objectifs de refonctionnalisation, désormais en cours de déclinaison spatialisée ;
- La préparation d'un plan d'actions structuré, orienté vers la préservation, la restauration et l'activation future des fonctions écologiques et agricoles du site.

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE AGRO-PÉDOLOGIQUE

L'étude a permis de cartographier les typologies de sols, d'évaluer les profils pédologiques, la faune du sol, la végétation, ainsi que le potentiel agronomique par secteur⁶¹. Deux zones ressortent avec un potentiel élevé : la partie Ouest (points 1 et 5) et l'ancien stade (point 4). Ces informations facilitent l'orientation des usages futurs, notamment pour des pratiques agricoles compatibles avec la réglementation en zone N2.



Figure 19 : Cartographie des typologies de sols © EODD ingénieurs conseils

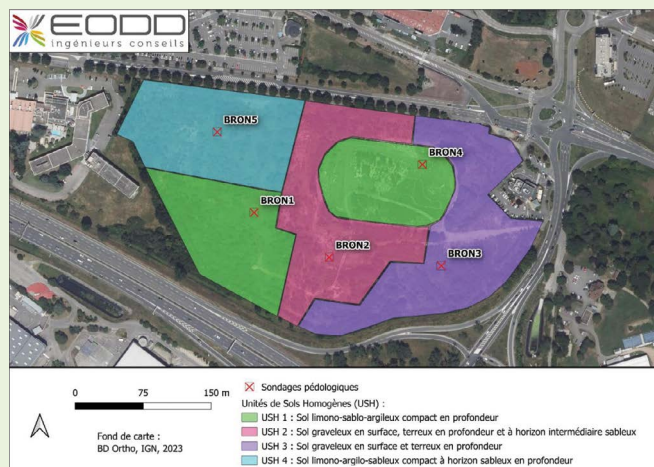


Figure 20 : Cartographie des typologies de sols © EODD ingénieurs conseils

(Se référer à l'annexe 5 pour plus d'informations sur la déclinaison du programme par objectif de renaturation.)

OBJECTIFS PRIORITAIRES DE RE FONCTIONNALISATION RETENUS EN UTILISANT LE RÉFÉRENTIEL

A la suite de l'utilisation du référentiel, trois objectifs de refonctionnalisation sont apparus comme prioritaires :

- Créer des zones cultivables
- Accueillir la biodiversité
- Gérer les eaux pluviales

61 Des analyses de polluants organiques ont également été effectuées : les taux observés sont conformes aux seuils.

Fonctions du sol	Objectifs de refonctionnalisation (selon points obtenus)				
	1. Accueillir la biodiversité 33 pts	2. Gérer les eaux pluviales 25 pts	3. Créer des zones cultivables 20 pts	4. Garantir l'appropriation des futurs usagers 2 pts	5. Maximiser la fraîcheur 0 pts
Support physique stable pour les végétaux					
Habitat pour les organismes					
Stockage, recyclage et transformation de la matière organique					
Stockage et fourniture de nutriments					
Stockage, circulation et infiltration de l'eau					
Filtration, rétention et dégradation des polluants					
Échanges gazeux avec l'atmosphère					

Figure 21 : Priorisation des objectifs de renaturation et fonctions écologiques associées © Essor Transitions, La Poste Immobilier, adapté par Institut de la Transition foncière

La déclinaison de ces objectifs au sein d'un plan-programme spatialisé est en cours d'élaboration. L'approche a d'abord été conduite objectif par objectif ; la consolidation et la mise en cohérence de ces éléments à l'échelle des différents secteurs restent à finaliser.

(Se référer à l'annexe 5 pour plus d'informations sur la déclinaison du programme par objectif de renaturation).

PERSPECTIVES

PROCHAINES ÉTAPES

Les travaux à venir portent sur :

- La finalisation du plan-programme, incluant le chiffrage des actions de gestion des EVEC ;
- La recherche d'un maraîcher bio pour l'exploitation agricole ;
- L'identification d'un opérateur pour le parc photovoltaïque ;
- La consolidation de la stratégie de gestion des espèces végétales exotiques envahissantes ;
- Des études complémentaires sur la perméabilité des sols et la création d'une mare ;
- La recherche de financements et de partenariats (associations, écoles, acteurs locaux) ;

- La poursuite des concertations locales. Ce retour d'expérience confirme l'intérêt d'une approche intégrée, combinant renaturation, expérimentation agricole et transition énergétique pour valoriser durablement une friche urbaine.

ENSEIGNEMENTS POUR D'AUTRES PROJETS

Plusieurs enseignements transposables ont été identifiés :

- L'importance d'un examen précoce des contraintes réglementaires pour sécuriser les orientations du projet ;
- La valeur ajoutée du dialogue avec les parties prenantes locales, permettant de détecter des synergies avec des dynamiques territoriales ;
- La nécessité d'anticiper un diagnostic écologique et pédologique sur quatre saisons ;
- La définition concertée de l'échantillonnage pédologique, entre le bureau d'étude sol et l'AMO, à partir des études écologiques déjà réalisées.

EN SAVOIR PLUS

Se référer à l'annexe 5.

EXPÉRIMENTATION 2

RENATURATION D'UN CENTRE COMMERCIAL À MONTPELLIER



Figure 22 : Exemple de sol non scellé sur le site étudié © EODD | ingénieurs conseils

CONTEXTE

PORTEUR DU PROJET

Icade

OÙ

Montpellier (34)

SUPERFICIE DU SITE

+ 4 ha

USAGE ACTUEL DU SITE

Centre commercial et parking

CONTEXTE URBAIN

Zone urbaine dense, proximité directe d'un espace vert

USAGE PROJETÉ

Quartier mixte à dominante résidentielle, dont espaces verts résidentiels

TEMPORALITÉ DU PROJET

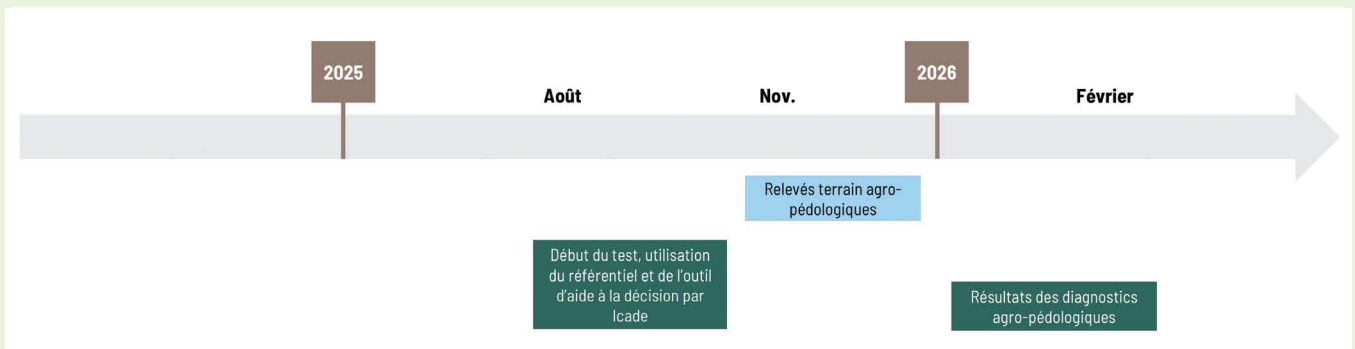


Figure 23 : Temporalité du projet © Icade, Institut de la Transition foncière |

RÉSULTATS

L'expérimentation du référentiel a permis :

- de réaliser trois sondages agrobiopédologiques (diagnostics de terrain et analyses en laboratoires) et ainsi connaître l'état pédologique, agronomique et biologique des sols présents sur site ;
- de compléter les données d'entrée nécessaires à la conception d'un projet d'aménagement.

Dans un second temps, ces résultats permettront aux bureaux d'étude compétents :

- d'aider à la définition du plan d'action pour la renaturation du site ;
- de définir et comprendre les indicateurs à mobiliser pour le suivi sur le long terme de la gestion du site.

CARACTÉRISATION DES SOLS OBSERVÉS

Deux des trois sondages ont été réalisés sur des portions d'espaces végétalisés (MTP1 et MTP3), le troisième a été réalisé sous le sol scellé du parking (MTP2).

Les analyses de fonctionnalités qui suivent (potentiel hydrologique, écologique, etc.) s'appliquent au sol lui-même et ne tiennent pas compte de la présence de l'enrobé en surface.

Trois grands types de sol ont été décrits :

- sol sableux en surface et limono-sablo-argileux en profondeur sous enrobé (la majeure partie du site) ;
- sol sablo-argilo-limoneux calcaire (sur des petits espaces très localisés) ;
- sol à texture équilibrée calcaire à horizon profond caillouteux (sur des petits espaces très localisés).

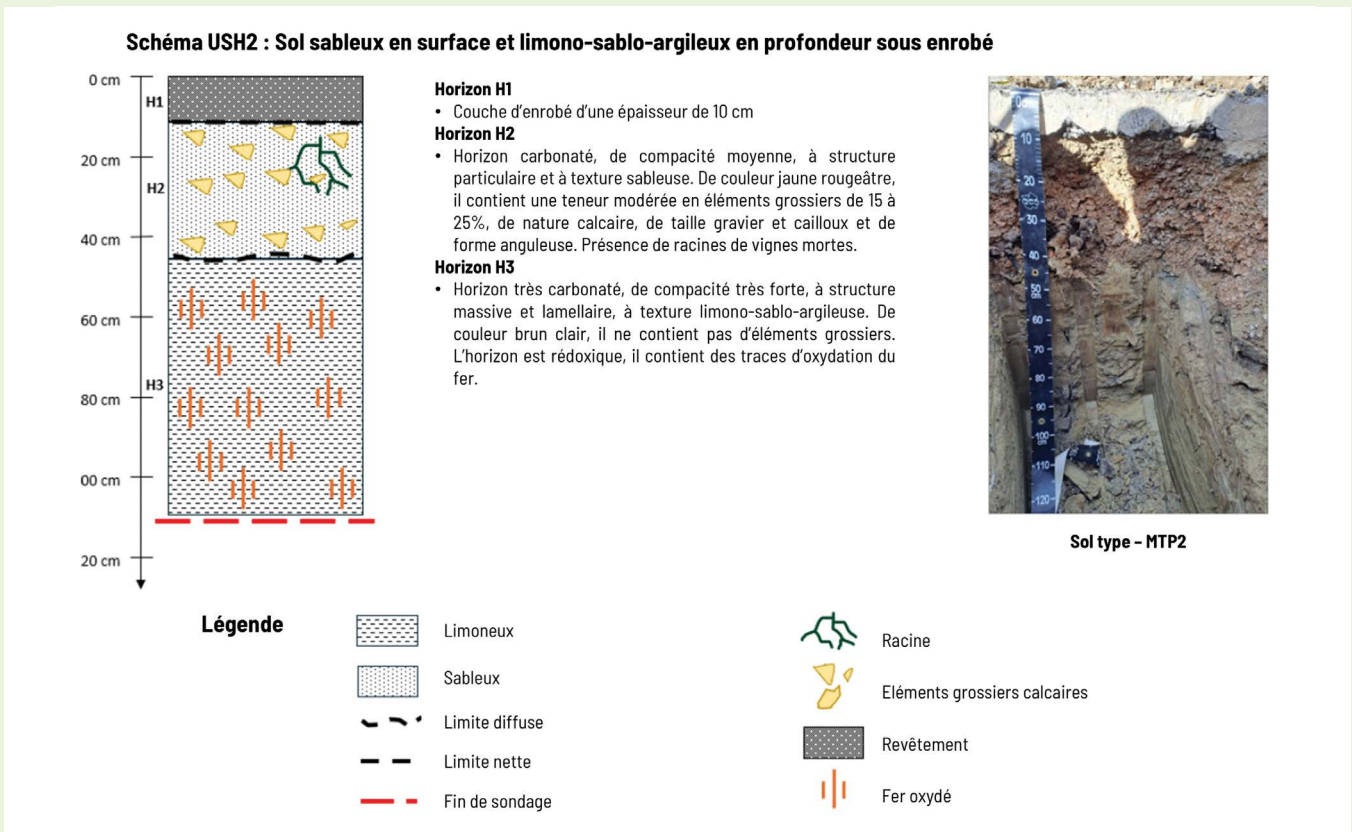


Figure 24 : Schéma de synthèse de l'unité typologique du sol sous enrobé © EODD ingénieurs conseils |

Le sol scellé observé sous l'enrobé (majoritaire sur le site) semble être le sol naturel, et s'apparente à un colluviosol, un sol représentatif de vallons et vallées.

- La teneur moyennement importante en éléments grossiers et la texture sableuse dans l'horizon H2 est a priori peu favorable à une réserve utile en eau de grande taille.
- La compacité élevée de l'horizon profond H3, avec des structures de sol caractéristiques d'une forte compaction, peut limiter la prospection des racines

et l'infiltration de l'eau, en témoigne la présence de traces d'oxydation importante.

- Le caractère calcaire du profil de sol peut limiter le développement de certaines plantes.
- La texture sableuse en surface est un désavantage pour la fertilité chimique, contrairement à la texture plus argileuse de l'horizon H3, qui est cependant en profondeur.

CHOIX D'HABITATS À RESTAURER EN COHÉRENCE AVEC LE TYPE DE SOL OBSERVÉ

A priori, la restauration de prairies calcicoles (ou pelouses calcaires) peut être pertinente. Ce type de milieu a un potentiel d'accueil d'espèces patrimoniales important. Elle nécessiterait de travailler sur la texture du sol (notamment avec des apports d'argiles ou de limons au niveau de l'horizon H2 et des actions de décompaction de l'horizon H3).

CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES DU SOL

L'état actuel du sol (c'est-à-dire, un sol scellé) n'a aucun potentiel de refuge pour la biodiversité.

L'étude indique que la diversité et l'abondance de la macrofaune épigée présente sur site est assez faible. Cependant la fonctionnalité taxonomique représentée est assez équilibrée. S'il est décidé d'introduire une espèce dans le cadre de la renaturation, une attention particulière devra se porter à ne pas déséquilibrer le réseau écologique. L'expertise d'un bureau d'étude naturaliste est indispensable avant toute action. La faune présente dans les zones décelées est encourageante au regard de l'ambition de renaturation.

POTENTIEL AGRONOMIQUE DU SOL

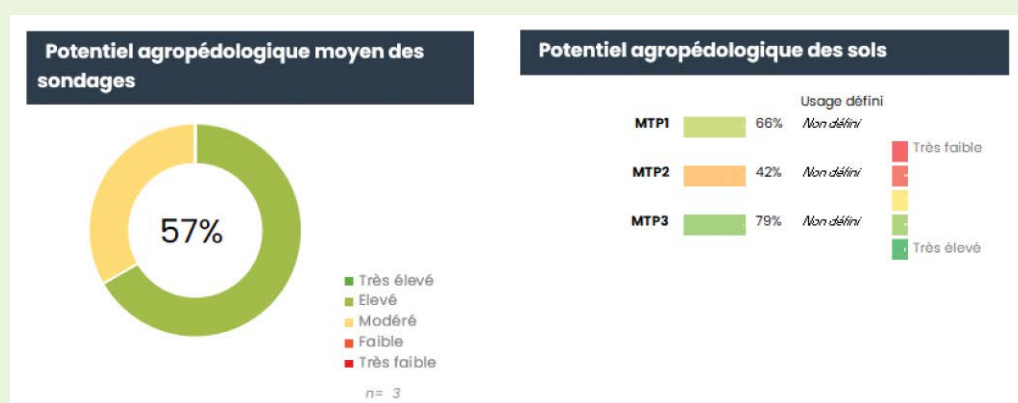


Figure 25 : Potentiel agropédologique global (à gauche) et pour chaque sondage (à droite) © EODD ingénieurs conseils | Cet indicateur combine à la fois les résultats pédologiques (physiques) et agronomiques (chimiques).

Le potentiel agronomique du sol est considéré comme « modérément élevé ». Les principales contraintes sont le pH élevé et le caractère calcaire des profils du sol.

Ainsi, une activité agronomique à portée pédagogique et non pas à vocation économique peut être envisagée sur une petite portion du site. Cependant, l'usage le plus pertinent pour le site semble être l'accueil de la biodiversité par la création d'une prairie calcicole et de micro-habitats.

STOCKAGE DE CARBONE ET CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES

Le sol a un potentiel de stockage de carbone modéré. Cette caractéristique est à exploiter dans le cadre de la renaturation.

Le potentiel de rétention en eau des sols du site varie de « élevé » à « très élevé » (entre 100 et 150 mm), d'après l'outil Aqua'Sol. Ces bonnes appréciations s'expliquent par une profondeur et une quantité de terre fine importantes pour l'ensemble des profils. Elles ne prennent cependant pas en compte la présence actuelle de l'enrobé.

PERSPECTIVES

L'expérimentation a permis de confronter le référentiel à des contraintes opérationnelles réelles : réglementaires (PPRI par exemple) et programmatiques (hauteur de bâtiment, accessibilité, stationnement). Elles conditionnent fortement les marges de manœuvre de renaturation. L'objectif sera de poursuivre l'implémentation des critères de renaturation dans la conception globale du projet.

Le référentiel permet de produire des données qualifiées mais son applicabilité dépend en partie de la maturité du projet. Pour les futures opérations, il sera important de bien qualifier la temporalité du projet pour positionner le diagnostic et l'usage du référentiel.

EN SAVOIR PLUS

Se référer à l'[annexe 6](#).

Réaliser son projet de renaturation

Cette section du référentiel doit permettre d'aider la maîtrise d'ouvrage à anticiper les choix techniques liés à la mise en œuvre d'un projet de renaturation. Celle-ci implique en effet une série d'étapes techniques visant à désartificialiser, refunctionaliser et végétaliser les sols.

Cette section présente les principaux enjeux techniques liés à ces étapes et propose des critères d'aide à la décision (temporalité, coût, difficulté technique, impact environnemental, etc.) qui pourront éclairer la rédaction des pièces constitutives du PRO-DCE : CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) et DPGF (Décomposition des Prix Globale et Forfaitaire) des lots concernés. Cela relève en particulier des lots espaces verts, des VRD (Voiries Réseaux Divers) et éventuellement des gros-œuvres et terrassements (en fonction de l'allotissement des travaux).

Bonne pratique

Réaliser un diagnostic ressource en phase préparatoire permet d'identifier les opportunités de réemploi, de recyclage et de valorisation des matériaux du site ou à proximité (chantiers attenants) pour inscrire le projet dans une démarche d'économie circulaire et diminuer les coûts de fourniture, de transport, etc.

Le projet Circuit-court des sols conduit par l'Institut de la Transition foncière donne des clefs pour identifier les opportunités de réemploi de terres.

La réalisation du projet peut être divisée en trois temps : les travaux de **préparation**, la **remise en état des sols** et le **réaménagement** écologique (Figure 26).

RÉALISATION

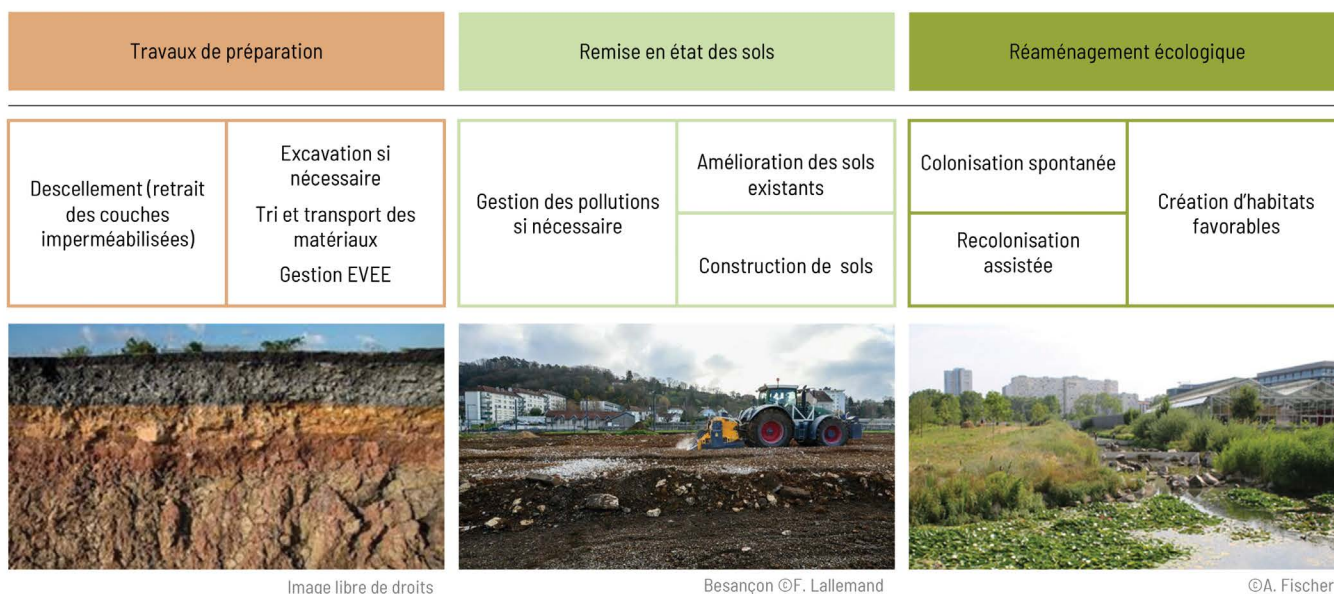


Figure 26 : Différentes étapes de la réalisation d'un projet de refunctionalisation © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière

De nombreuses techniques peuvent être mises en œuvre dans ce type de projet. Le choix de ces techniques doit se faire relativement en amont du projet pour orienter la rédaction des pièces constitutives du PRO-DCE : CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) et DPGF (Décomposition des Prix Globale et Forfaitaire) des lots concernés en particulier lots espaces verts, VRD (Voiries Réseaux Divers), éventuellement gros-œuvre, terrassement (en fonction de l'allotissement des travaux).

FOCUS

CHOIX DES ENTREPRISES

Les capacités des entreprises à réaliser les travaux relatifs à la renaturation doivent être absolument évaluées dès la phase de consultation. Les critères d'analyse des offres et de sélection des candidats peuvent par exemple intégrer la demande de :

- **Références de projets réalisés** impliquant descelllement / réemploi de sol / amélioration de sol / etc. ;
- Qualité du **mémoire technique** sur les étapes du chantier de renaturation ;
- Qualité des indicateurs sélectionnés pour l'étude et du plan d'échantillonnage qui doit être assez représentatif des sols en place ;
- **Planning de formation** des entreprises sur les bonnes pratiques de préservation des sols en phase chantier, sur la création d'habitats pour la faune, sur la diminution des nuisances en phase chantier, etc. ;
- **Compétence de l'équipe projet** : étant donné le caractère pluridisciplinaire de la renaturation et sa sensibilité aux particularités du territoire, l'équipe projet sera constituée, en fonction des besoins et spécificités, de plusieurs expert-es en écologie, pédologie, agronomie, sites et sols pollués.

Pour les travaux relatifs à la remise en état des sols et au réaménagement écologique, il est conseillé de faire appel à une entreprise spécialisée dans l'aménagement paysager. Certaines qualifications peuvent orienter ce choix (par exemple Qualipaysage). Néanmoins les références de projets restent à considérer en priorité dans le choix de l'entreprise.

Pour la réalisation des études (LEVE - levée de doute, DIAG - diagnostic pollution, et PG - plan de gestion) et des travaux de dépollution, il est nécessaire de faire appel à des prestataires certifiés LNE SSP (référentiel suivant les normes françaises NF X 31-620). Cette certification concerne 3 domaines d'activité : études, assistance et contrôle ; ingénierie des travaux de réhabilitation ; exécution des travaux de réhabilitation.

| PHASE CHANTIER

En bref

Qui ? #MOA, #Architecte, #Paysagiste, #Pédologue, #Écologue et #Entreprises de travaux

Quelle phase de projet ? #PRO-DCE et #EXE

Objectif : Garantir un chantier à faible impact environnemental et préservant au maximum la fonctionnalité des sols.

Avant le chantier - anticipation

L'anticipation de la phase chantier est une étape déterminante pour garantir la réussite d'un projet de renaturation. Cette préparation rigoureuse repose sur la mise en place de **documents de référence** solides et sur la formalisation d'**engagements environnementaux précis**, tout en veillant à la sensibilisation et à la formation de l'ensemble des intervenant-es.

LES ENJEUX À PRENDRE EN COMPTE

Cette anticipation doit impérativement couvrir les aspects fondamentaux suivants : la **gestion des sols**, la **protection de la flore et de la faune**, et la **prévention des pollutions**.

La **protection des sols existants** est essentielle dans la réussite du projet. Il s'agit de prévoir, mettre en place et maintenir les **protections temporaires nécessaires** et la délimitation claire des zones de chantier, mais aussi de mettre en œuvre des mesures spécifiques pour préserver leur structure. Il convient de **définir clairement en amont du chantier** l'entreprise qui aura la charge de cette prestation de fourniture, de sa mise en place et de la surveillance des protections tout au long du chantier.

L'idéal est de conserver les sols dans leur état initial sans déblais/remblais pour en préserver au maximum la structure et les espèces qui s'y trouvent. Néanmoins, si le projet implique de déblayer/remblayer une partie des sols, une attention particulière sera apportée aux **pratiques de stockage** (se référer à la partie [Stockage et réemploi des terres excavées](#)).

La **gestion des déblais et remblais** doit être rigoureuse, en privilégiant un **tri minutieux** et le contrôle de la **qualité des terres**. La **prévention des pollutions**, la **préservation de la fertilité des sols**, la **gestion des eaux pluviales** et des **espèces exotiques envahissantes**, ainsi que la **gestion des pièges à faune** et des déchets, sont autant d'aspects cruciaux

à considérer. Une attention particulière doit être portée à la **gestion de l'eau**, en mettant en place des dispositifs de rétention et d'infiltration pour limiter le ruissellement et l'érosion des sols en place.

La **prévention et la réduction des pollutions** en phase chantier (chimiques, sonores, lumineuses) est primordiale. Les risques de pollution des sols du site et alentour doivent être maîtrisés par la mise en place de dispositifs de rétention, la gestion des eaux de ruissellement et la surveillance régulière des zones de stockage de produits dangereux. Un protocole de gestion des pollutions en cas d'urgence doit être établi dès la préparation du chantier (par exemple présence d'un kit antipollution sur le chantier, formation des compagnons, etc.). Il convient d'analyser la composition et la propriété des échantillons de sol à différentes profondeurs et emplacement du chantier. Ces analyses permettent de détecter toute contamination ou dégradation du sol et de prendre les mesures correctives nécessaires avant le début du chantier.

La **protection de la flore et du patrimoine arboré** existant doit être assurée par la mise en place de mesures de conservation adaptées, en tenant compte des spécificités des espèces : emprise du système racinaire, emprise des parties aériennes.

La **limitation des perturbations sur la faune** doit être une priorité, en adoptant des techniques de travail respectueuses de la biodiversité et en veillant à la protection des habitats naturels. En particulier, il s'agit d'adapter les calendriers d'intervention pour éviter de commencer en période de nidification. Certaines bonnes pratiques sont aussi nécessaires pour réduire l'impact : éviter les pièges écologiques (cavités, bassins sans échappatoires, etc.), éviter de stocker du matériel non bâché sur de longues durées au printemps, mettre en place un protocole d'alerte en cas de présence d'individus sur le chantier (suivi écologique), etc.

LES DOCUMENTS CADRES À AMENDER

Pour garantir l'efficacité de cette anticipation, il est essentiel de s'appuyer sur des **documents de référence** tels que le **Plan d'Installation de Chantier (PIC)**, la **charte chantier** (définissant les périodes d'intervention pour minimiser les perturbations), les engagements environnementaux et les protocoles de gestion des déchets et des **espèces exotiques envahissantes (EEE)**.

Enfin, la **sensibilisation du personnel de chantier et des intervenants** est un élément clef pour assurer l'adhésion à la démarche et la mise en œuvre effective des bonnes pratiques environnementales.

- La charte chantier

La charte chantier répertorie les engagements des entreprises sur les sujets environnementaux. Il est important d'y intégrer les sujets précédemment énoncés en lien avec la préservation des sols. Il est également possible de créer une **charte spécifique au sujet sol** pour en accentuer l'importance. Un engagement des entreprises est alors à exiger sur la base de cette charte. Pour en renforcer l'impact, il est recommandé d'instaurer des **pénalités** en cas d'atteinte au sol et/ou à la végétation préservée.

- Le plan d'installation de chantier (PIC)

Le **PIC** doit représenter les éléments structurants pour la préservation des sols du site dans le but de minimiser l'impact du chantier sur les sols. En particulier :

- Identification des **zones préservées** (sol fonctionnel, habitat écologique, arbres, etc.) et un **balisage associé** ;
- Représentation des **emprises au sol temporaires ayant un impact sur les sols** (compactage notamment) dans le but de les minimiser (aires de nettoyage, poste béton, aires de stockage des postes d'atelier, base vie, abris engins, voies d'accès, stationnements, circulations piétons et engins, clôture chantier, etc.). Il convient d'identifier la hauteur des différents éléments pour vérifier la compatibilité entre la rotation des engins et les arbres protégés ;
- **Surface nécessaire au stockage des matériaux excavés** en vue de leur réutilisation. Cette évaluation doit prendre en compte le volume total des matériaux extraits, leur nature (terre, gravats, sédiments, etc.) et leur tri, en prévoyant un espace dédié pour chaque type de matériau. Organiser le stockage sous forme de tas distincts permettra d'optimiser leur gestion, de faciliter leur réemploi et de limiter les risques de contamination ou de dégradation. Une bonne planification de ces aspects contribuera à réduire les coûts et les impacts environnementaux du projet.

FOCUS

PROTECTION DE LA VÉGÉTATION EXISTANTE

La protection de la végétation existante et des zones de mise en défens est cruciale pour préserver la biodiversité et la stabilité écologique du site.

Avant le début des travaux, il est important de **délimiter les zones sensibles et de les protéger par des clôtures**. La mise en défens consiste à restreindre l'accès piéton, le stockage et le stationnement et la circulation d'engins dans une

certaine emprise autour de la végétation.

Des inspections régulières doivent être effectuées pour vérifier l'efficacité des mesures de protection et prendre des actions correctives si nécessaire. L'entreprise en charge de l'installation et la surveillance de ces éléments doit être clairement identifiée en amont du chantier.

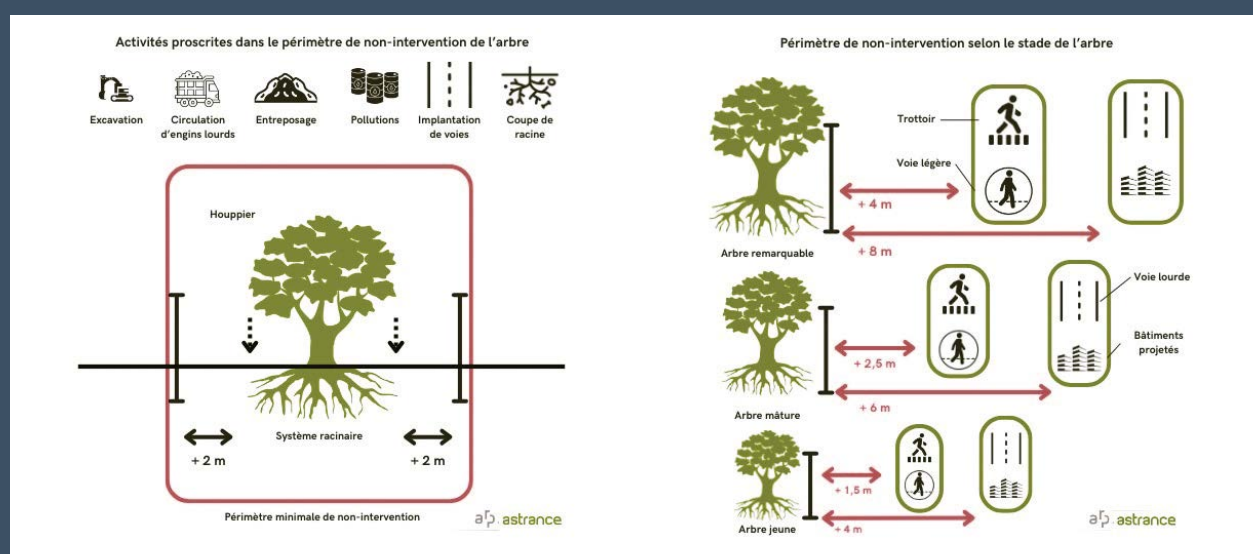


Figure 27 : Schémas de principes de protection des arbres. ©ARP Astrance

💡 Pour aller plus loin

Législation suisse sur la protection des sols pendant les chantiers, voir notamment :

- RS 814.12 : Ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol).
- République et canton de Genève, 2019. Protection des sols sur les chantiers : contenu minimal d'un concept de gestion des sols

Guide biodiversité, UNEP, 2025

Règles professionnelles PC1-R0 : Travaux des sols

Règles professionnelles NC4-R0 : Travaux de génie écologique

Règles professionnelles PE6-R0 : Gestion de populations de plantes exotiques envahissantes

Pendant le chantier

RESPECT DES ENGAGEMENTS EN PHASE CHANTIER

Vérification du respect des **engagements** :

- Contrôle de l'application de la charte chantier et du PIC ;
- Mise en place et suivi des mesures de réduction des nuisances ;
- Contrôle du respect des itinéraires et emprises définies.

Afin de prévenir les impacts sur la faune, des mesures doivent être mises en œuvre, telles que l'identification et la suppression des cavités pièges, le nettoyage quotidien du chantier pour éviter les pièges accidentels pour la faune, et la surveillance des zones de protection pour éviter les intrusions.

Le suivi en phase chantier est essentiel pour garantir la réussite d'un projet de renaturation. Il comprend la planification minutieuse des travaux, le suivi quotidien des activités de construction, et le contrôle de la qualité pour s'assurer que les travaux respectent les normes environnementales et les objectifs du projet.

SUIVI DE LA QUALITÉ DES SOLS PAR UN BUREAU D'ÉTUDE SPÉCIALISÉ

Il est fortement recommandé de faire appel à un bureau d'étude spécialisé pour le **suivi de la qualité des sols durant la phase chantier**. Différents éléments doivent être réalisés lors du suivi sur les chantiers :

- S'assurer que les matériaux excavés sont **stockés correctement** pour éviter une dégradation de leur qualité. Cela inclut la sélection d'une zone de stockage appropriée, l'utilisation de techniques de stockage spécialisées et la protection des matériaux (pour une méthodologie plus précise des enjeux de stockage des terres excavées, (se référer à la partie *Stockage et réemploi des terres excavées*) :
- **Emplacement** : stocker les matériaux excavés sur une zone plane, stabilisée et éloignée des milieux sensibles (cours d'eau, zones humides, habitat écologique à préserver, etc.).
- **Protection** : utiliser des bâches pour couvrir les matériaux et prévenir leur dégradation par les intempéries, ou mettre en place une végétalisation temporaire.
- **Isolation** : placer des géotextiles sous les matériaux pour éviter toute contamination des sols sous-jacents.
- **Organisation** : former des andains pour optimiser le stockage, en séparant les matériaux pollués, non pollués et réutilisables, avec un étiquetage clair. Les andains sont généralement dimensionnés

à une hauteur de 1,5 à 2 m, une largeur de 2 à 3 m et une longueur ajustée selon la quantité de matériaux, pour garantir stabilité, accès facile et gestion optimale.

- **Contrôle** : limiter l'accès à la zone de stockage et effectuer des inspections régulières pour vérifier l'état des protections et éviter tout drainage, dispersion ou croissance d'**espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE)**.
- S'assurer de la mise en œuvre des mesures de protection des sols : Le bureau d'étude spécialisé effectue des inspections régulières pour s'assurer que les mesures de protection sont respectées. Cela inclut la vérification de l'efficacité des clôtures de protection, des barrières anti-érosion et des zones de mise en défens. En cas de problème, des actions correctives doivent être prises rapidement pour minimiser l'impact sur les sols.

⚠ Point d'attention : Attention au tassement des andains de sol lors du stockage

Un tassement excessif des andains, souvent recherché pour obtenir un rendu visuellement « propre », peut entraîner la création de conditions anoxiques (manque d'oxygène en profondeur). Cela favorise le développement de bactéries anaérobies spécifiques, au détriment de communautés microbiennes plus équilibrées. Ce déséquilibre peut ensuite perturber le fonctionnement biologique du sol une fois réutilisé sur site, notamment en ralentissant sa régénération ou en limitant la disponibilité des nutriments pour les plantes.

Il est donc essentiel de sensibiliser les conducteurs d'engins et les entreprises de terrassement à ces enjeux, en privilégiant des méthodes de stockage qui préservent la structure et l'aération des sols (andains moins hauts, non compactés, couvertures végétales temporaires, etc.), ou en évitant de rouler sur les andains, etc.

**Pour aller plus loin**

Guide de bonnes pratiques pour les chantiers réalisé par l'Unep : [Bonnes pratiques du secteur, les règles professionnelles](#)

Guides pour réduire les nuisances de chantier réalisés par la Métropole de Lyon : [De nouveaux outils à destination des professionnels du bâtiment pour réduire les nuisances et pollutions - Vers un territoire résilient](#)

Quels coûts pour les opérations de descellement ? [Désimperméabiliser les villes. Plante&Cité, 2024.](#)

Pour anticiper la réutilisation des terres excavées urbaines, se référer au guide opérationnel réalisé par l'Institut de la transition foncière : « Circuit-court des sols : optimiser la gestion des terres excavées pour des sols vivants. » A paraître en juin 2026.

TRAVAUX DE PRÉPARATION

En bref

Qui ? #MOA, #Pédologue, #Entreprises de travaux, #BE VRD

Quelle phase de projet ? #PRO-DCE, #ACT, #EXE et #Réception

Objectif : Préparer le terrain pour les interventions principales en réalisant le descellement, l'excavation, le tri des matériaux et la gestion des déchets, tout en garantissant la réutilisation des ressources et en minimisant l'impact environnemental.

Cette phase regroupe l'ensemble des opérations qui peuvent s'avérer nécessaires pour préparer le terrain avant les interventions principales. Elle mobilise principalement des entreprises de travaux publics et des entreprises spécialisées en voirie et réseaux divers (VRD). Elles sont spécialisées dans les activités telles que le descellement, l'excavation, le tri des matériaux, le transport et la gestion des déchets spécifiques, y compris les espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE).

Descellement

Un sol scellé est constitué de plusieurs couches, dont la couche de surface recouverte d'un revêtement imperméable. Cette couche peut varier en épaisseur et en composition, en fonction des usages du sol et des matériaux utilisés (enrobés hydrocarbonés, béton, sablés stabilisés, dalles/pavés, etc.). Ces revêtements limitent les échanges d'eau et d'air entre le sol et son environnement, rendant ainsi plus complexe la gestion des eaux pluviales et le développement de la biodiversité.

Le descellement permet de retirer les revêtements imperméables (asphalte, béton, pavés, etc.) qui recouvrent les sols scellés. Le choix de la technique dépend de plusieurs facteurs :

- **Surface à traiter** (petite, moyenne, grande) ;
- **Épaisseur et nature du revêtement** (enrobé mince ou épais, béton, autres) ;
- **Objectifs spécifiques du projet** (réutilisation des matériaux, limitation des nuisances) ;
- **Contexte environnemental** (proximité des bâtiments, gestion des poussières et du bruit).



Figure 28 : Profil de sol scellé ©G. Séré, LSE, adapté du guide DESSERT

Tableau 5 : Techniques de descellement





PROCÉDÉ	DESCRIPTION	UTILISATION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Pelle mécanique 	Une pelle mécanique est équipée d'un godet pour arracher les revêtements rigides. C'est la méthode la plus courante pour le descellement grâce à sa rapidité et son coût relativement faible.	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes surfaces • Épaisseurs de revêtements variables, jusqu'à 20-30 cm 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficace pour les projets rapides • Faible coût 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuisances sonores et vibrations • Moins adapté pour les zones sensibles ou nécessitant une grande précision • Peut endommager les matériaux récupérés, rendant leur réutilisation difficile
Descellement manuel 	Ce procédé repose sur l'utilisation d'outils à main comme des burins, marteaux, ou levier, ou encore de petits outils électriques portables.	<ul style="list-style-type: none"> • Petites surfaces • Réutilisation des matériaux retirés sans dommages • Chantiers participatifs 	<ul style="list-style-type: none"> • Très précis. • Peu de dommages aux matériaux. • Faible impact environnemental (bruit, vibrations) 	<ul style="list-style-type: none"> • Limité aux petites surfaces, moins efficace pour des zones plus grandes
Raboteuse	La raboteuse est un engin équipé d'un tambour rotatif à dents pour découper ou raboter l'enrobé sur des épaisseurs réglables.	<ul style="list-style-type: none"> • Petites à moyennes surfaces • Enrobés de faible épaisseur ou nécessitant un retrait par couches successives 	<ul style="list-style-type: none"> • Précision élevée grâce à un réglage précis de la profondeur de coupe • Permet de récupérer des enrobés en morceaux relativement homogènes 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût modéré, plus élevé que la pelle mécanique pour des surfaces importantes • Moins adaptée pour des couches épaisses (>20 cm) • Peu adapté pour travailler près des arbres
Fraiseuse 	Une fraiseuse est une variante de raboteuse, plus compacte et agile pour des zones ciblées.	<ul style="list-style-type: none"> • Petites surfaces très ciblées • Asphalte ou béton 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficace pour les travaux de finition ou sur des zones limitées • Contrôle précis de la profondeur et de l'uniformité 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible sur de grandes surfaces • Nécessite un entretien rigoureux pour garantir sa précision
Marteau-piqueur ou BRH (brise-roche hydraulique) 	Outil ou équipement monté sur une pelle mécanique, utilisé pour casser les revêtements très durs ou épais (par exemple : béton armé).	<ul style="list-style-type: none"> • Zones localisées avec des matériaux difficiles à enlever 	<ul style="list-style-type: none"> • Très efficace pour les revêtements épais ou renforcés • Compatible avec les pelles mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuisances importantes (bruit, vibrations) • Lent et coûteux pour de grandes surfaces

Tableau 6 : Comparatif des techniques de descellement

	TEMPORALITÉ	COÛT	IMPACT ENVIRONNEMENTAL	RÉUTILISATION DES MATÉRIAUX
Manuel	Critères en défaveur du choix de la technique	Critères en défaveur du choix de la technique	Critères en faveur du choix de la technique	Critères en faveur du choix de la technique
Pelle mécanique	Critères en faveur du choix de la technique	Critères en faveur du choix de la technique	Critères intermédiaires	Critères en défaveur du choix de la technique
Marteau-piqueur / BRH	Critères en défaveur du choix de la technique	Critères intermédiaires	Critères en défaveur du choix de la technique	Critères en défaveur du choix de la technique
Fraiseuse / Raboteuse	Critères intermédiaires	Critères intermédiaires	Critères intermédiaires	Critères intermédiaires



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique propose une aide à la décision détaillée pour le choix de la technique de descellement. Il fournit des critères pour orienter votre sélection en fonction des caractéristiques du projet.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je prévois les grandes étapes de mon projet : je réfléchis aux techniques de descellement envisageables dans le cadre de mon projet ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>



Bonne pratique

« Si le revêtement de surface n'est pas pollué, il est possible de :

- Réemployer une partie ou la totalité du revêtement de sol en l'utilisant en sous-couche, en matériau de surface ;
- Exporter le matériau de surface et conserver le sol en place, sous le revêtement ;
- Exporter la totalité du revêtement des sols et des structures pour amener un nouveau sol. »

D'après le référentiel de Plante & Cité, issu du projet DESSERT⁶².



Pour aller plus loin

Pour mieux concevoir ses stratégies et adapter ses pratiques de descellement de sols urbains : Guide Désimperméabiliser les villes, Plante & Cité, 2024

Pour choisir des revêtements adaptés au changement climatique : Revêtements et changement climatique : choisir le bon matériau au bon endroit. Agence Parisienne du Climat, 2024.

Excavation

L'excavation désigne l'ensemble des méthodes utilisées pour retirer les matériaux présents dans le sol afin de permettre la renaturation ou d'autres travaux d'aménagement. Le choix des techniques dépend :

- des propriétés des matériaux (sols, substrats, végétaux) ;
- des objectifs de réutilisation, de la nature du site ;
- des contraintes environnementales.






Figure 29 : Pelle mécanique hydraulique (excavatrice)
© Matthew T Rader, CC-BY-SA

L'excavation peut également constituer une étape dans le traitement des pollutions. Dans ce cas, les terres excavées peuvent être triées et éliminées hors site, ou traitées sur site et utilisées pour le remblaiement.

⚠ Point d'attention

L'excavation n'est pas toujours nécessaire : dans de nombreux cas, le sol ou le substrat en place peut être amélioré ou refunctionalisé *in situ*. Au vu des impacts environnementaux et des flux de matières induits par un tel procédé, il convient de réfléchir aux situations alternatives avant d'opter pour l'excavation.

Tableau 7 : Techniques d'excavation

PROCÉDÉ	DESCRIPTION	UTILISATION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Pelle mécanique 	<p>Engin standard du BTP, la pelle mécanique est équipée d'un godet qui creuse et retire les matériaux. La chargeuse transporte ces matériaux sur le site ou les déplace vers des camions pour leur évacuation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Excavation générale de sols meubles ou cohérents • Terrains sans obstacles majeurs comme des racines ou des structures enterrées • Travaux nécessitant un rendement élevé 	<ul style="list-style-type: none"> • Grande capacité de déplacement et d'excavation • Coût relativement bas pour les gros volumes 	<ul style="list-style-type: none"> • Moins adapté pour des sols fragiles ou sensibles • Impact élevé sur l'environnement. immédiat (compactage des sols, nuisance sonore)
Aspiratrice à embout caoutchouc 	<p>Engin d'aspiration permettant d'excaver des sols ou de dégager des racines d'arbres avec précision, sans les endommager. L'embout en caoutchouc prévient les abrasions sur les végétaux ou infrastructures fragiles. L'usage d'une aspiratrice consiste à aspirer des matériaux non liés qui doivent être préalablement décompactés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zones sensibles, par exemple autour des arbres ou des infrastructures enterrées (canalisations, câbles) • Projets où préserver les racines ou d'autres éléments est essentiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Excavation douce et précise, limitant les dommages • Peu de perturbation du sol autour 	<ul style="list-style-type: none"> • Très coûteux, adapté uniquement à un usage ponctuel • Rendement faible pour de grandes surfaces ou volumes
Motor-scraper (arracheuse) 	<p>Engin combinant un système de coupe et de transport des sols en une seule opération, permettant le retrait de la couche supérieure du sol (décapage).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Idéal pour les grands chantiers de terrassement • Nivellement de grandes surfaces de terrains • Transport de matériaux sur de longues distances 	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de déplacer de grandes quantités de matériaux rapidement • Réduit les déplacements et optimise l'efficacité 	<ul style="list-style-type: none"> • Moins efficace sur terrain accidenté • Moins précis que d'autres méthodes d'excavation (comme la pelle mécanique)

© pictogrammes : Flaticon.com

Tableau 8 : Comparatif des techniques d'excavation

	TEMPORALITÉ	COÛT	IMPACT ENVIRONNEMENTAL	RÉUTILISATION DES MATÉRIAUX
Pelle mécanique/ chargeuse	Critères en faveur du choix de la technique	Critères en faveur du choix de la technique	Critères intermédiaires	Critères intermédiaires
Aspiratrice à embout caoutchouc	Critères en défaveur du choix de la technique	Critères en défaveur du choix de la technique	Critères en faveur du choix de la technique	Critères intermédiaires
Motor-scraper	Critères en faveur du choix de la technique	Critères en faveur du choix de la technique	Critères intermédiaires	Critères intermédiaires

Les techniques d'excavation doivent être sélectionnées en fonction des **besoins spécifiques** du site et des **contraintes budgétaires**. Par exemple, les pelles mécaniques sont idéales pour les travaux rapides sur de grandes surfaces peu végétalisées, tandis que l'aspiratrice est privilégiée pour des contextes sensibles car elle permet de préserver les racines d'arbres, de protéger les câbles fragiles et de travailler en sécurité à proximité d'infrastructures souterraines délicates (réseaux d'eau, de gaz, d'électricité), limitant ainsi les perturbations et évitant les dommages. L'intégration du tri et de la gestion des matériaux est essentielle pour garantir une approche durable et économique dans un projet de renaturation.

certains cas, mais contre-indiqué dans d'autres. En revanche, **l'extraction frontale** permet de sélectionner les couches les plus portantes, idéales pour la circulation des engins, mais ne favorise pas le tri des matériaux. Pour un projet de renaturation visant à réutiliser les matériaux du site, l'extraction en couche est généralement plus appropriée.



Figure 30 : Extraction en couches au motor-scraper
© Tomás Del Coro, CC BY-SA



Figure 31 : Extraction frontale à la pelle © image libre de droit



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique propose une aide à la décision détaillée pour le choix de la technique d'excavation. Il fournit des critères pour orienter votre sélection en fonction des caractéristiques du projet.

La rubrique à consulter pour plus de détails :
« Je prévois les grandes étapes de mon projet : je précise les techniques d'excavation envisageables dans le cadre de mon projet ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

L'extraction en couches, avec une épaisseur de 0,1 à 0,3 m, permet une bonne fragmentation et un tri naturel des matériaux, ce qui est bénéfique pour la qualité des remblais. Elle expose les sols aux agents atmosphériques, ce qui peut être avantageux dans

Lors des travaux d'excavation, les sols fortement compactés peuvent rendre les opérations difficiles et inefficaces. L'**utilisation d'une sous-soleuse** peut être envisagée pour décompacter le sol en profondeur avant les travaux, facilitant ainsi l'excavation ultérieure. Cet outil spécialisé ameublisse les couches compactées sans perturber excessivement les horizons inférieurs. Il est recommandé d'effectuer cette opération lorsque le sol est sec afin d'assurer une efficacité optimale.

⚠ Point d'attention

L'excavation des terres doit être réalisée en fonction des classes de matériaux maniés. En effet, la terre excavée a le statut de déchet. Elle est généralement classée en trois catégories : déchets dangereux, déchets non dangereux et déchets inertes. Chaque catégorie nécessite une gestion spécifique et une évacuation différenciée :

- Déchets dangereux (contiennent des substances nocives) : Ces matériaux doivent être traités avec des procédures spécifiques, souvent nécessitant un traitement particulier avant leur évacuation dans des installations agréées ;
- Déchets non dangereux (ne présentent pas de risques pour la santé ou l'environnement mais ne peuvent pas être laissés sur place, comme : bois, plastiques, certains bétons) : Ils peuvent être évacués vers des sites de traitement ou de stockage dédiés, mais sans les contraintes strictes des déchets polluants ;
- Déchets inertes (matériaux qui ne subissent aucune décomposition ni réaction chimique significative) : Ceux-ci, comme les gravats ou les sols non contaminés, peuvent généralement être réutilisés sur site ou évacués vers des sites de décharge adaptés aux matériaux inertes.

Une gestion adéquate et différenciée de ces déchets est essentielle pour respecter les normes environnementales et optimiser la réutilisation des matériaux.

💡 Pour aller plus loin

Utiliser une excavatrice par aspiration :

- *Fiche n° AT-TED Excavatrice par aspiration utilisée en technique douce, Observatoire National DT-DICT, 2024*
- *Fiche travaux Protection des racines : exécution des terrassements et remblaiements, Ville de Montpellier, 2017.*

Guide des terrassements : *Guide des terrassements des remblais et des couches de forme, Cerema, 2024.*

Règle professionnelle Unep PC1-R0 : « *Travaux des sols, supports de paysage - Caractérisation, amélioration, valorisation et reconstitution* » aborde également le décapage pour les entreprises du paysage.

Pour anticiper les contraintes d'excavation en fonction des usages futurs des terres excavées, se référer au guide opérationnel de l'Institut de la transition foncière : « *Circuit-court des sols : optimiser la gestion des terres excavées pour des sols vivants.* » A paraître en juin 2026.

Tri et transport des matériaux

TRI DES MATÉRIAUX

Le tri des matériaux excavés est une étape essentielle pour favoriser le réemploi. Il consiste à séparer les matériaux en fonction de leur potentiel de réutilisation : terres fertiles, enrobés, gravats, etc. Ce tri peut être réalisé manuellement ou à l'aide de dispositifs mécanisés. Un tri précis permet de réduire les coûts d'élimination des déchets et d'optimiser l'utilisation des ressources.

- Infrastructures nécessaires

- Plateformes de tri avec convoyeurs et broyeurs ;
- Espaces de stockage temporaire adaptés (bennes, silos, entrepôts couverts, etc.) ;
- Zones de traitement pour les déchets non valorisables.

Ces besoins doivent être anticipés dès la phase de conception pour assurer une gestion optimale des matériaux, y compris en cas de contraintes d'espace.

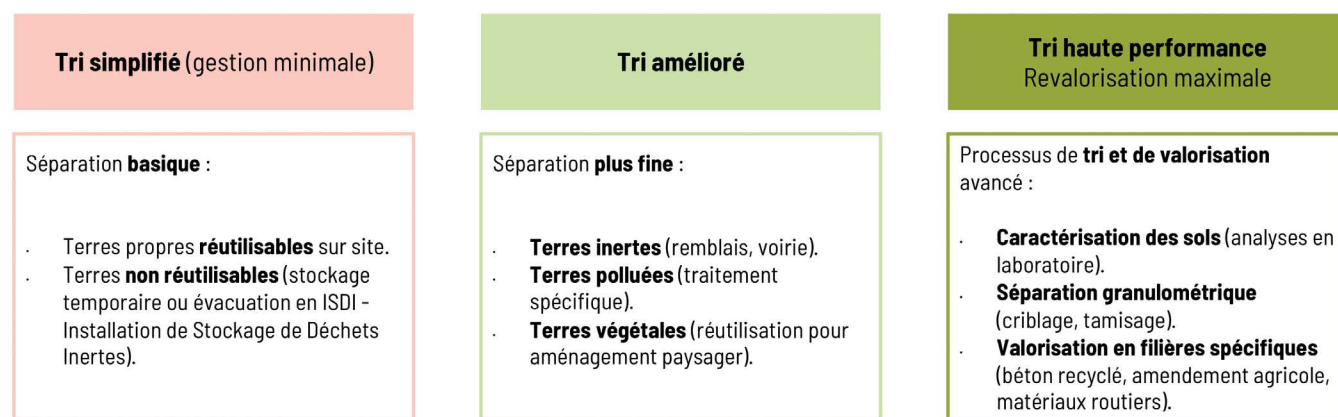


Figure 32 : Différentes méthodes de tri selon les ambitions de revalorisation ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière |

TRANSPORT DES MATÉRIAUX

Le transport des matériaux excavés doit être réalisé de manière efficace et durable. Le choix du transport se fait en fonction des types de matériaux, de la localisation des sites de réemploi, et de la configuration du chantier.

- Modes de transport possibles

- Camions ;
- Transport ferroviaire ;
- Transport fluvial ;
- Transports internes (grues, bennes sur rail, convoyeurs).

Pour limiter l'impact environnemental des transports, plusieurs critères doivent être pris en compte :

- **Réduction des distances parcourues** : Prioriser les filières locales pour réduire l'empreinte carbone ;
- **Optimisation des charges** : Maximiser les chargements pour limiter le nombre de trajets ;
- **Combinaison de modes de transport** : Utiliser plusieurs modes de transport pour optimiser l'efficacité ;
- **Utilisation de véhicules à faibles émissions** : Privilégier les camions électriques ou alimentés au gaz naturel dans les zones sensibles.

La gestion des flux de transport nécessite également un suivi constant des émissions de gaz à effet de serre et une planification logistique claire pour éviter les embouteillages et réduire les perturbations autour du chantier.

Pour aller plus loin

Guides pour réduire les nuisances de chantier réalisés par la Métropole du Grand Lyon : [De nouveaux outils à destination des professionnels du bâtiment pour réduire les nuisances et pollutions - Vers un territoire résilient](#)

Gestion des espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE) et des terres contaminées aux EVEE

La présence d'**espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE)** sur le site représente un point de vigilance majeur. Ces plantes peuvent nuire à la biodiversité locale et compromettre la réussite des travaux de renaturation. La liste des espèces exotiques envahissantes est établie à l'échelle européenne et nationale, en application du règlement européen n° 1143/2014⁶³ et de la réglementation nationale de 2018 (art. L. 411-5 et suivants du code de l'environnement, décrets et arrêtés associés)⁶⁴, ainsi qu'à l'échelle régionale (généralement établie par les Conservatoires Botaniques Nationaux – CBN).

GESTION DES ESPÈCES VÉGÉTALES EXOTIQUES ENVAHISSANTES (EVEE)

La gestion implique des techniques spécifiques de retrait et d'élimination, dépendant de **l'espèce considérée**, de son **stade de développement** et de la **période d'intervention**. Il convient de se référer aux guides existants concernant leur gestion pour adapter le protocole d'intervention à chaque cas d'étude.

Plus généralement, la gestion des EVEE implique une grande vigilance :

- Nettoyer les engins et outils ayant servi à l'arrachage ou la fauche d'EVEE, sur une emprise dédiée à proximité du chantier ;
- Certaines espèces ont une capacité à recoloniser un espace à partir de très petits fragments, l'élimination doit se faire conformément aux protocoles recommandés et de façon rigoureuse pour retirer tous les fragments ;
- Les végétaux envahissants doivent être transportés avec attention en étant recouverts pour éviter les pertes de fragments pouvant les disséminer ;
- Les déchets verts d'espèces végétales exotiques envahissantes doivent être traités de façon adaptée : compostage industriel ou méthanisation de préférence. Le compostage domestique est interdit car il ne permet pas une élimination efficace des fragments (température trop basse).

GESTION DES TERRES CONTAMINÉES PAR DES ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

Si des espèces exotiques envahissantes sont observées sur un site ou ses abords, les terres sont susceptibles d'être contaminées. On considère comme saines les terres au-delà de 3m de profondeur⁶⁵ (Figures 33 et 34).

63 [Règlement \(UE\) n° 1143/2014](#) du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes.

64 [Article L411-5](#) du Code de l'environnement

65 Muséum National d'Histoire Naturelle, GRDF, Fédération Nationale des Travaux Publics et ENGIE Lab CRIGEN, 2016. [Guide d'identification et de gestion des Espèces Végétales Exotiques Envahissantes sur les chantiers de Travaux Publics.](#)

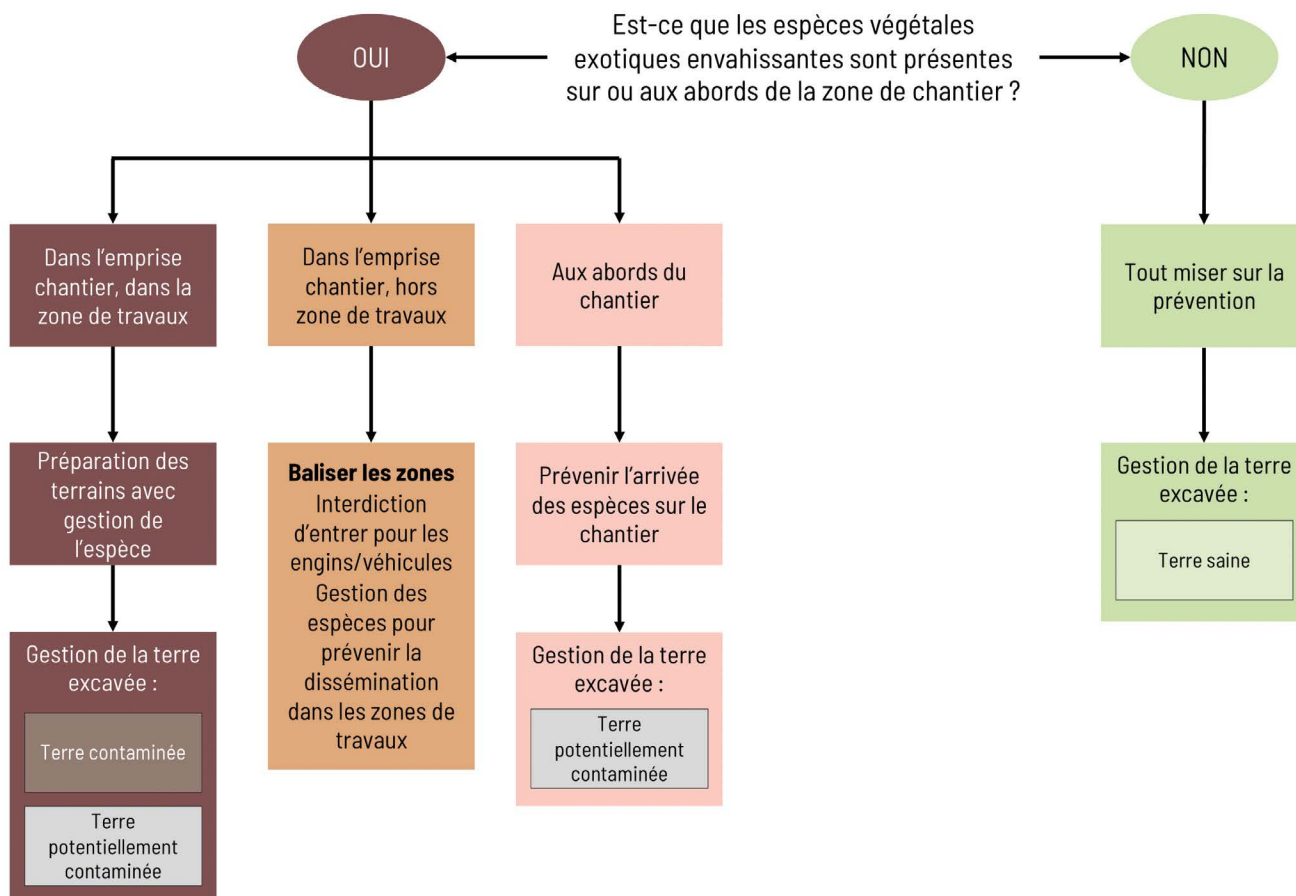


Figure 33: Gestion des terres contaminées aux espèces végétales exotiques envahissantes dans la zone chantier ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière, d'après le Guide d'identification et de gestion des Espèces Végétales Exotiques Envahissantes sur les chantiers de Travaux Publics © MNHN, GRDF, FNTP, ENGIE⁶⁶

Comment gérer une terre excavée selon sa contamination ?

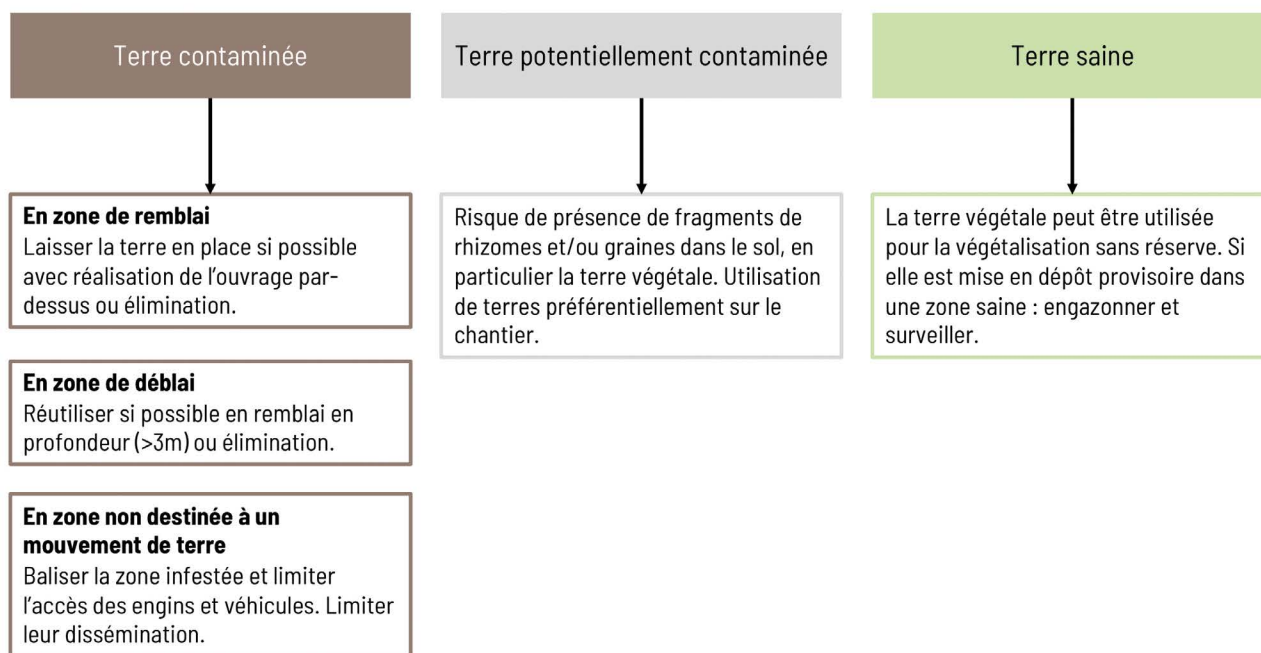


Figure 34: Gestion des terres excavées selon leur contamination aux espèces exotiques envahissantes ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique propose un aperçu des stratégies à mettre en œuvre en cas de présence d'EVEE sur le site.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je prévois les grandes étapes de mon projet : j'anticipe la gestion des espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE) ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>



Pour aller plus loin

Recommandations pour gérer des terres contaminées aux EVEE : [Terres Végétales et Espèces Exotiques Envahissantes](#), Cerema Hauts-de-France, 2021.

Guide d'identification et de gestion : [Guide d'identification et de gestion des Espèces Végétales Exotiques Envahissantes sur les chantiers de Travaux Publics](#), MNHN, GRDF, FNTF, Engie, 2016.

La liste des espèces exotiques envahissantes réglementées répertoriées par l'Office Français pour la Biodiversité : [Les espèces exotiques envahissantes - OFB](#)

Les listes régionales, exemple du Conservatoire Botanique du Bassin parisien : [Les plantes exotiques envahissantes d'Île-de-France](#), Conservatoire botanique national du Bassin parisien - Muséum National d'Histoire Naturelle, délégation Île-de-France, 2022.

Le centre de ressources des espèces exotiques envahissantes : [Centre de ressource des EEE](#), OFB, UICN

REMISE EN ÉTAT DES SOLS

Cette phase consiste à restaurer et améliorer les sols pour assurer leur qualité et leur fonctionnalité. Elle fait appel à des expert-es en ingénierie environnementale, géotechnicien-nes et pédologues. Ces acteur-ices interviennent pour évaluer la pollution, concevoir des solutions de dépollution (si nécessaire), améliorer les sols existants et construire des sols (génie pédologique) adaptés.

En bref

Qui ? #MOA, #MOE, #Bureau d'études sites et sols pollués

Quelle phase de projet ? #Réalisation

Objectif : Gérer efficacement les pollutions sur le site.

Gestion des pollutions

L'approche actuelle de la gestion des sites pollués repose sur une **évaluation des risques sanitaires et environnementaux en fonction de l'usage** des sites. Elle met l'accent sur la compatibilité de l'état des milieux avec les usages constatés et futurs, et suppose de rétablir cette compatibilité afin de maîtriser les risques sanitaires et environnementaux (après réhabilitation des sites).

La politique nationale de gestion des sites et sols pollués se base sur les **grands types de milieux** (eau, air, sol). Elle engage à définir les modalités de suppression des pollutions au cas par cas, compte tenu des techniques disponibles et de leurs coûts économiques. Le maintien d'une pollution résiduelle sur un site est lié à la compatibilité entre milieux et usages retenus (industriel, résidentiel, renaturation etc.). Si nécessaire, il est assorti de conditions de maîtrise des impacts sanitaires ou environnementaux. La méthodologie nationale de gestion des SSP concerne **tous les sites présentant potentiellement des problématiques de pollution de leurs sols et/ou de leurs eaux souterraines**, relevant ou non de la réglementation des ICPE⁶⁷.

Un ensemble d'actions permettent de réduire les pollutions présentes dans les milieux. Certaines opérations de traitement peuvent être mises en œuvre **in situ** (directement dans le milieu pollué) ou **sur site** (traitement sur place mais avec excavation et

traitement sur site des matériaux pollués). En fonction du contexte de l'opération de dépollution (type de polluant, transfert possible vers la nappe, les végétaux ou l'air via les poussières, objectifs, surface disponible, calendrier, etc.), les matériaux pollués peuvent aussi être **excavés et évacués en centre collectif de traitement**.

Le choix des techniques de traitement se fait après caractérisation complète des milieux et de la pollution. Il s'appuie aussi sur un bilan « coûts – avantages » qui précise les meilleures techniques à envisager.

Plusieurs types de traitements existent :

- **Les traitements physiques** : par voie thermique, mécanique ou électrique, il est possible d'immobiliser, extraire ou dégrader les polluants (volatilisation, pompage, désorption thermique, stabilisation, venting, etc.) ;
- **Les traitements chimiques** : par des réactifs chimiques détruisant ou transformant les polluants en des composés moins toxiques, moins mobiles et/ou plus facilement biodégradables ;
- **Les traitements biologiques** : les polluants organiques peuvent être dégradés par activité microbienne (phyto/rhizodégradation) en fonction de leur disponibilité et de leur degré de récalcitrance, et les polluants métalliques ne se dégradent pas mais peuvent être stabilisés dans le sol ou dans les racines (phytostabilisation) ou absorbés par la plante (phytoextraction).

67 Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2017. *Méthodologie Nationale de gestion des sites et sols pollués*. Direction générale de la Prévention des Risques, Bureau du Sol et du Sous-Sol, 128p.

FOCUS

PHYTOREMEDIATION POUR GÉRER LES POLLUANTS

L'usage de plantes permet de gérer la contamination des sols en piégeant les métaux lourds ou en dégradant les polluants (composés organiques). La phytoremédiation n'est cependant pas envisageable pour les pollutions concentrées. Différentes techniques peuvent être mobilisées selon le type de contamination⁶⁸ :

- **Phytoextraction** (pour les polluants inorganiques : Ni, Cd, Cu, Zn, As) : absorption des polluants par les racines ;
- **Phytodégradation** : transformation des polluants organiques en molécules moins toxiques ;
- **Phytostabilisation** : immobilisation des contaminants dans le sol.

Ces solutions sont particulièrement adaptées aux grands espaces faiblement contaminés et aux projets nécessitant une dépollution progressive.

Dans la gestion des sites et sols pollués, les phytotechnologies présentent de nombreux atouts pour la renaturation des sols. Par exemple : la stabilisation des polluants dans le sol, valorisation des terres sur site (réduction des coûts de transport liés à leur élimination), amélioration des fonctions du sol, amélioration des aménités paysagères et participation des sols à la résilience



Figure 35 : *Nocca caerulea*, hyperaccumulatrice de cadmium, nickel et zinc © WeeJeeVee, CC BY-SA

face au changement climatique. Ces options de gestion doivent être envisagées dans le cadre du Plan de gestion (PG) à la suite d'une étude bilan coût/avantage. Les sources de pollution doivent être maîtrisées en s'appuyant sur des études de délimitation et de traitement des pollutions concentrées, de délimitation des impacts, et de validation de la compatibilité des pollutions résiduelles avec les usages prévus.

Les traitements sont appliqués sur les zones de pollution concentrée identifiées dans le cadre du diagnostic. Après la mise en œuvre des solutions techniques de dépollution, **certaines pollutions non concentrées sont parfois laissées en place**, notamment lorsque les moyens techniques de traitement et de réhabilitation ne sont pas suffisants pour une dépollution complète et/ou que les coûts économiques sont disproportionnés par rapport aux enjeux.

La gestion de ces pollutions repose principalement sur l'analyse des risques sanitaires devant conduire à une vérification de la compatibilité de l'état des sols avec les usages prévus. Cela peut se traduire par la mise en place de **mesures spécifiques de gestion** comme le recouvrement des sols par de la terre saine (sur

une épaisseur de 30 voire 50 cm) ou la mise en place d'une restriction partielle ou totale de la fréquentation humaine. Cependant, la présence résiduelle de ce ou ces polluant(s) pourrait être incompatible avec d'autres usages des milieux qui s'avèreraient plus exigeants. Il est donc nécessaire de **conserver la mémoire de cette pollution**, au travers de servitudes d'utilité publique ou d'un secteur d'information sur les sols (SIS).

Une démarche basée sur l'**analyse des risques pour les écosystèmes** pourrait être envisagée afin de vérifier la compatibilité environnementale de cette pollution résiduelle, sur le modèle de la démarche Triade⁶⁹. Elle pourrait s'inspirer de l'« ARR fin de travaux », une analyse des risques résiduels vérifiant l'acceptabilité sanitaire des expositions aux pollutions.

68 Lorec A. et al., 2016. *Infographie - la phytoremédiation*. Les défis du CEA, juin 2016, n°208.

69 Pauget B. et al., 2025. *Démarche Triade : guide technique d'application*. Projet TRIPODE (2021-2024). 53 pages.

Dans le cadre de la mise en œuvre de travaux sur des sites pollués sur lesquels tout ou partie du terrain est destiné à un usage de renaturation, l'application de la démarche Triade permettrait alors de sécuriser le risque environnemental en s'assurant que les polluants présents sur le site n'engendrent pas d'effet inacceptable sur les écosystèmes terrestres ou aquatiques.

Définition⁷⁰

- **Pollution concentrée** : Pollution chimique délimitée spatialement, présentant des concentrations d'un ou plusieurs polluants, significativement supérieures à celles avoisinantes.
- **Pollution diffuse** : Pollution chimique présentant des concentrations d'un ou plusieurs polluants relativement uniformes sur de vastes volumes ou surfaces, d'un ou plusieurs milieux.
- **Pollution résiduelle** : Présence dans un milieu d'un ou plusieurs polluants laissés en place sur un site après la mise en œuvre des mesures de gestion (actions, traitements ou travaux de réhabilitation), compatible avec les usages des milieux associés à la réhabilitation.

Point d'attention

- Le maître d'ouvrage doit réaliser un **diagnostic de la présence d'amiante dans les enrobés** avant toute intervention. En cas de contamination, leur évacuation doit suivre une filière réglementée afin de garantir la sécurité des travailleur-ses et la protection de l'environnement ;
- Un **plan de gestion des eaux** doit répondre aux directives locales et européennes, notamment celles de la Directive Cadre sur l'Eau, afin de protéger les ressources aquatiques proches des sites ;
- Un **plan de gestion de la pollution des sols** doit être élaboré à la suite des diagnostics réalisés en phase préparatoire. Ce plan de gestion définit les mesures à prendre permettant d'assurer une compatibilité entre l'état des sols et l'usage de renaturation.

OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique établit la liste des études préalables à réaliser dans le cadre d'un projet de renaturation, y compris les études de pollution.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je consulte les études préalables à réaliser ».

 <https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

Pour aller plus loin

Diagnostiquer les sols pollués :

- Guide *Diagnosics des sites et sols pollués* – BRGM, INERIS, ADEME, 2023

Liste et classification des techniques de dépollution sur la plateforme [SelecDEPOL](#)

Méthodologie pour encadrer l'usage de renaturation dans la gestion des sites et sols pollués :

- *Rapport d'étape*, INERIS, 2025

Méthodologie d'aide à la décision pour une gestion intégrée des sites et des fonctions du sol :

- *Rapport DESTISOL : Les sols, une opportunité pour un aménagement urbain durable*, ADEME, 2017

Autres outils de gestion : base documentaire de la plateforme [InfoTerre - sites et sols pollués](#)

Stockage et réemploi des terres

excavées

En bref

Qui ? #MOA, #MOE, et #Entreprises de travaux

Quelle phase de projet ? #PRO-DCE, #ACT, #EXE et #Réception

Objectif : Valoriser les matériaux déjà présents sur le site pour la refunctionalisation des sols.

Le stockage et la revalorisation des terres excavées lors de projets de renaturation visent à réduire la quantité de déchets acheminés vers des sites d'enfouissement et à favoriser le réemploi des terres en adéquation avec leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

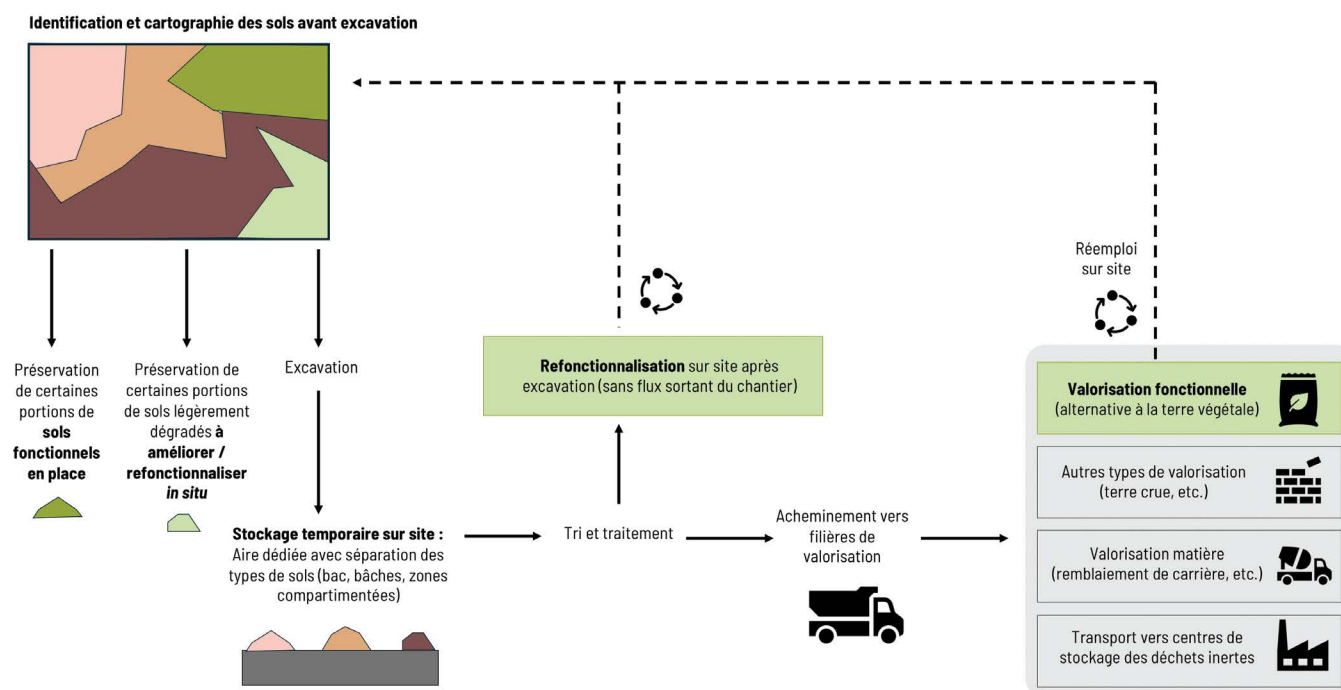


Figure 36 : Schéma de la méthode de valorisation des terres excavées ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière |

CARACTÉRISATION ET PLANIFICATION DE LA GESTION DES TERRES

Avant toute valorisation et décision de stockage ou de réemploi, une caractérisation détaillée des terres est nécessaire pour évaluer leur qualité et potentiel de réemploi. Il est également recommandé d'identifier les différentes couches de sol, notamment la couche de surface pour la stocker à part (aspect important de la fonctionnalité des sols futurs)⁷¹.

Caractéristiques à analyser :

- La qualité et la composition des terres excavées ;
- La présence éventuelle de contaminants ;
- La compatibilité avec un usage futur.

71 Règle professionnelle Unep P.C.1-R0 : « Travaux des sols, supports de paysage - Caractérisation, amélioration, valorisation et reconstitution » (p.20)

L'élaboration d'un Plan de Gestion des Déblais et Terres Excavées (PGDTE) permet d'organiser :

- Le tri des terres selon leur qualité (propres, légèrement polluées, fortement polluées) ;
- Les possibilités de réemploi sur place pour limiter le transport et préserver la trame brune ;
- Les alternatives de valorisation (filières industrielles, agricoles, travaux publics).

STOCKAGE TEMPORAIRE DES TERRES

Le stockage temporaire des terres excavées doit respecter des règles strictes pour prévenir la dispersion de polluants et garantir une gestion optimale. Il est essentiel de séparer les terres propres, valorisables et polluées dès l'excavation pour **éviter les contaminations croisées** et garantir une traçabilité précise.

Les terres excavées sont souvent stockées temporairement sur le site ou dans des plateformes spécialisées en attendant leur réutilisation ou traitement. Ce stockage doit respecter les précautions suivantes :

- **Protéger les matériaux** : Utilisation de toiles géotextiles ou de végétalisation temporaire pour protéger contre l'érosion et les infiltrations d'eau. Il est fortement déconseillé de stocker les terres végétales à nu pour éviter les risques de contaminations aux EVEC notamment. Il est possible de semer des engrais verts pour protéger et enrichir leur qualité agronomique (dans le cas où cet enrichissement est compatible avec la fonctionnalité cible du sol)
- **Ne pas dépasser une certaine hauteur de l'andain** (levée de terre ou d'enrochement) pour éviter l'asphyxie (Figure 37) ;
- **Minimiser la durée de stockage** (Figure 37) ;
- **Séparer les flux** : Classification des terres selon leur nature pour faciliter leur gestion ultérieure.
- **Éviter la circulation d'engins sur les andains.**

Pour plus de précisions, se référer à la partie *Pendant le chantier*.

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 supérieur à 1 %			
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 ans
	non sableuse	< 2 m	< 6 mois

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 inférieur à 1 %			
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	sans objet
	non sableuse	< 4 m	sans objet
H° > LP	sableuse	< 4 m	sans objet
	non sableuse	< 2 m	< 6 mois

Figure 37 : Pratiques de stockage des terres © Tableau adapté par l'Institut de la Transition foncière, d'après l'UNEP, 2012, règles professionnelles n°: P.C.1-R0⁷²

RÉEMPLOI ET VALORISATION

En adoptant une approche réfléchie et intégrée pour la revalorisation des terres, les projets de renaturation peuvent significativement limiter leur empreinte environnementale tout en optimisant les ressources disponibles.

Le réemploi des terres excavées peut se faire directement sur site ou être transféré vers d'autres projets, avec pour objectif principal de limiter le transport et les impacts environnementaux et d'éviter le stockage en ISDI :

- **Réutilisation locale** : Les terres peuvent être employées en remblais ou en substrats fertiles pour les espaces verts après traitement et/ou

amendement (se référer à la partie *Amélioration et construction de sol*) ;

- **Valorisation fonctionnelle et collaboration avec les acteurs locaux** : Agriculteurs, collectivités et plateformes spécialisées (par exemple *Terres Fertiles* ou *Terre Utile*) peuvent faciliter la valorisation des terres pour d'autres projets ;
- **Intégration dans les filières de construction** : Certaines terres peuvent être valorisées dans la fabrication de matériaux comme le béton ou les enrobés. De manière plus spécifique, l'argile peut être utilisée en pisé ou briques de terres crues ;
- **Valorisation matière** : lorsqu'aucune valorisation fonctionnelle n'est envisageable au vu des caractéristiques du matériau, les terres peuvent être employées en remblaiement de carrières.

72 Union Nationale des entreprises du paysage, 2012. *Travaux des sols, supports de paysage*. N° P.C.1-R0. RÈGLES PROFESSIONNELLES de l'UNEP. 57 pages.

Lorsque les terres à fertilité dégradée ou matériaux excavés non terreux nécessitent un traitement avant réemploi, plusieurs solutions existent. Elles dépendent des spécificités du matériau considéré et de sa destination :

- **Valorisation des terres**, sur site ou hors site : Après amendement ou traitement léger, les terres peuvent être réintégrées directement dans le projet, limitant ainsi les coûts et les déplacements (se référer à la partie [Amélioration et construction de sol](#)), ou refunctionalisées via des plateformes spécialisées ;
- **Gestion des terres polluées** : Les matériaux minéraux et inertes évacués sont soumis à la réglementation des déchets. Les sols contaminés doivent subir un traitement adapté avant leur réemploi ou évacuation, en conformité avec la réglementation ;
- **Contrôle des matériaux** : Un criblage peut être nécessaire avant stockage pour identifier d'éventuelles contaminations aux éléments indésirables (par exemple espèces végétales exotiques envahissantes), néanmoins celui-ci a un impact notable sur les organismes du sol et doit donc être réalisé uniquement si nécessaire.

⚠ Point d'attention

- Tous les travaux de gestion des terres doivent respecter le cadre réglementaire en vigueur, notamment en ce qui concerne la traçabilité des matériaux, leur conformité aux normes environnementales et le choix des filières de valorisation ou d'élimination (à intégrer dans le PGDTE).
- Si le projet d'aménagement est soumis à une étude d'impact, les modalités d'utilisation des terres excavées sont définies à travers les préconisations issues de l'étude d'impact. La maîtrise des impacts liés à la valorisation de terres excavées sur les milieux du site receveur est proportionnelle aux enjeux à préserver.



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique donne un aperçu des techniques d'excavation qui pourraient vous être recommandées en fonction des spécificités du site.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je prévois les grandes étapes de mon projet : Je précise les techniques d'excavation envisageables dans le cadre de mon projet ».

🌐 <https://renaturer.transitionfonciere.fr/>



Pour aller plus loin

Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement, Ministère de l'Environnement, 2024.

Guide de valorisation hors site des terres excavées non issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement, Ministère de la Transition écologique, 2020

Outil de traçabilité des terres : [TERRASS](#), BRGM.

Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestres : étude environnementale et sanitaire, Cerema, 2025.

Les règles professionnelles de l'UNEP : [Travaux des sols, supports de paysage. N° P.C.1-R0](#). Union Nationale des entreprises du paysage, 2012.

Guide opérationnel et boîte à outils « Circuit court des sols » en cours de développement par l'Institut de la Transition foncière : accès à la [note de cadrage](#) du projet.

Guide de la Métropole du Grand Paris : [Intégrer des substrats fertiles recyclés dans des projets d'aménagement](#), 2026.

Amélioration et construction

de sol

En bref

Qui ? #MOA, #MOE, #Paysagiste et #Pédologue

Quelle phase de projet ? #PRO-DCE, #ACT, #EXE et #Réception

Objectif : Mettre en place des sols fonctionnels et adaptés aux usages.

L'amélioration et/ou la construction de sols sont essentielles pour restaurer ou concevoir des habitats adaptés aux usages prévus. Cette démarche doit tenir compte des contraintes locales (disponibilité des matériaux, gestion des eaux, interactions avec les infrastructures existantes).

Une approche méthodique combinant expertise pédologique, analyse des sols existants et définition d'un itinéraire technique est indispensable. Cela implique d'écouter l'expert-e pédologue, d'étudier les profils des sols du site et de définir des modèles adaptés pour garantir des sols fonctionnels, résilients et appropriés aux objectifs du projet.

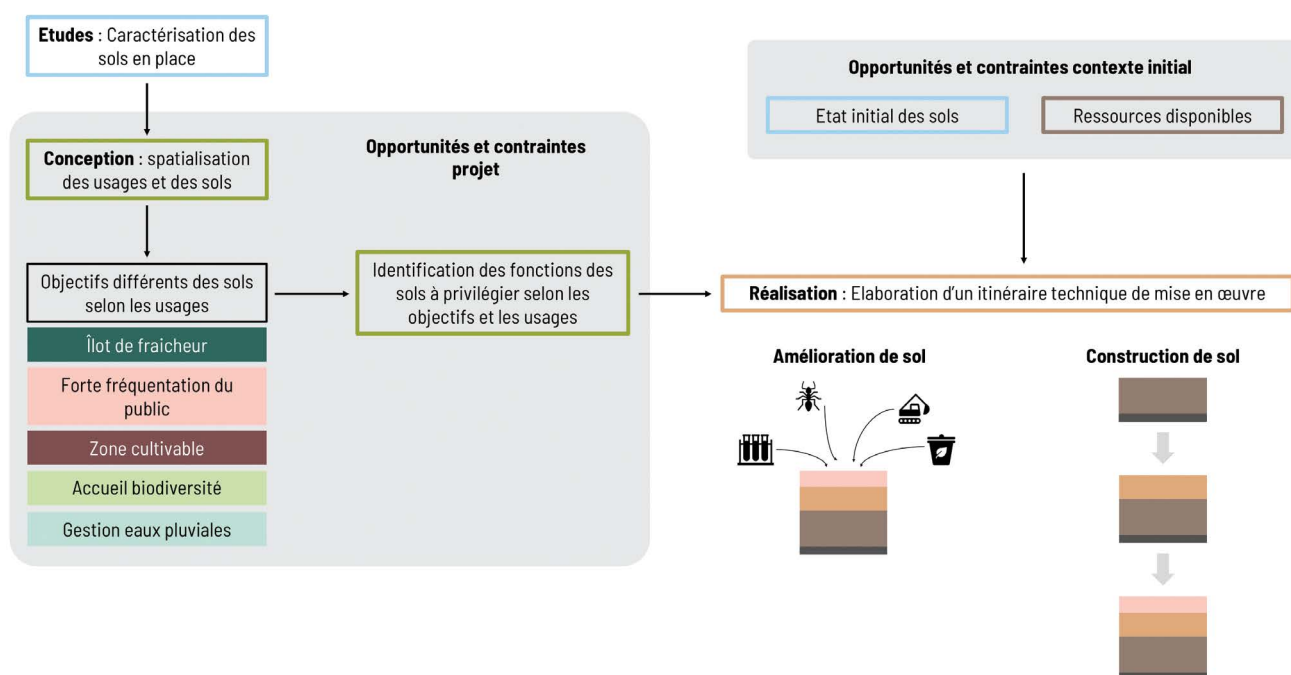


Figure 38 : Méthode de remise en état des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière, d'après le projet SITERRE⁷³ |

Pour définir l'itinéraire technique et créer des sols fonctionnels, plusieurs facteurs doivent être pris en compte :

- **État initial** : évaluer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol pour optimiser les efforts et adapter le projet aux caractéristiques du terrain ;
- **Objectifs du projet** : déterminer l'usage final et les exigences fonctionnelles des sols, puis élaborer un modèle ou profil de sol idéal ;
- **Ressources disponibles** : considérer les matériaux accessibles sur site ou à proximité pour garantir une mise en œuvre efficace.

73 Ouvrage issu du projet SITERRE (2010-2015) : Damas O. (coord.), Coulon A. (coord.), 2016. *Créer des sols fertiles : du déchet à la végétalisation urbaine*, Editions du Moniteur, 335 p.

La mise en place de sols multifonctionnels repose sur différentes approches selon l'état initial du sol et les objectifs visés. Deux stratégies principales peuvent être mises en œuvre :

- **Amélioration des sols existants**, lorsque le sol est encore fonctionnel mais nécessite des interventions ciblées ;
- **Construction de nouveaux sols**, si le sol est trop dégradé, contaminé ou pollué.

Ces méthodes permettent de s'inscrire dans une démarche d'économie circulaire tout en répondant aux enjeux écologiques et fonctionnels du site. Le choix entre amélioration et construction dépendra du degré de dégradation, des niveaux de pollution et des objectifs écologiques ou d'aménagement (Figure 38).

Actuellement, la pratique la plus commune est l'utilisation de terre végétale importée, c'est-à-dire du sol agricole venant de zones rurales autour des villes. Cette pratique n'est pas durable puisque le sol n'est pas une ressource renouvelable à l'échelle humaine.

AMÉLIORATION DES SOLS EXISTANTS

Si le sol est relativement sain ou modérément dégradé, l'objectif sera de restaurer ses fonctionnalités en intervenant directement sur ses propriétés. Les techniques d'amélioration des sols peuvent être physiques, chimiques ou biologiques, et elles peuvent être utilisées seules ou combinées selon les besoins spécifiques.

- **Amélioration physique** : L'amélioration physique du sol vise à optimiser sa structure et ses propriétés physiques pour favoriser une meilleure croissance des plantes et une gestion efficace de l'eau. L'amélioration physique des sols a également un impact sur la biodiversité.
 - *Décompactation et aération* : permet de restaurer la porosité du sol, facilitant les échanges hydriques et gazeux, essentiels à la vie du sol. Un sous-solage, un travail du sol mécanique (fourche, grelinette, décompacteurs, outils de pseudo-labour) ou biologique (racines profondes, lombrics) peuvent être mis en œuvre. Les travaux de décompactation dépendent de la surface du site, de l'intensité et de la profondeur du tassement.

⚠ Point d'attention

- **Décompactation mécanique ou biologique ?**
Par action mécanique, on peut atteindre 20-35 cm de profondeur, tandis que les méthodes biologiques prennent plus de temps : 1-2 ans pour recréer la porosité dans les 20 premiers cm, plus de 10 ans pour atteindre 30-50 cm de profondeur⁷⁴.
- **Problématique technique de la décompactation**
Il est crucial de protéger les infrastructures existantes souterraines (câbles, canalisations) et d'éviter une dégradation supplémentaire des sols humides. Les sous-soleuses et griffes permettent de réduire la compaction tout en respectant les réseaux souterrains.

- *Modification de la texture* : apport de sable, de limons ou d'argiles pour ajuster la granulométrie.
- *Modification de la structure* : mise en place de couches drainantes, création de micro-reliefs pour la gestion de l'eau.
- **Amélioration chimique** : L'amélioration chimique vise à améliorer les propriétés chimiques du sol ou apporter des nutriments adaptés aux besoins des plantes en stimulant les dynamiques naturelles et en améliorant les conditions abiotiques (aération, apport de matière organique).
 - *Amendements minéraux* : chaux pour corriger l'acidité, gypse (apport de calcium et soufre) pour améliorer la structure et corriger l'acidité et la salinité des sols. L'apport d'azote, de phosphore ou de potassium peut, selon les besoins des végétaux sur place, être intéressant.
 - *Fertilisation raisonnée et amendements organiques des sols* : engrais organiques ou apports de matière organique (compost, fumier, bois raméal fragmenté (BRF), couverts végétaux, etc.).

74 Deboeuf De Los Rios G., Barra M., Grandin. G., 2022. *Renaturer les villes. Méthode, exemples et préconisations*. ARB îdF, Institut Paris Région.

⚠ Point d'attention

Les engrais chimiques présentent plusieurs inconvénients majeurs. Leur utilisation entraîne une perte significative lors de l'épandage en raison de leur volatilité, et le ruissellement peut polluer les cours d'eau environnants. De plus, les minéraux utilisés dans les engrais chimiques ne sont pas toujours renouvelables et leurs méthodes d'extraction ont des impacts environnementaux négatifs. Les pratiques de fixation de l'azote minéral par le procédé Haber-Bosch ont également un impact carbone considérable.

- **Amélioration biologique** : L'amélioration biologique désigne l'utilisation d'organismes du sol pour stimuler l'activité biologique. Il s'agit d'introduire des microorganismes spécifiques (issus de laboratoires ou du site) pour accélérer la recolonisation et la restauration des fonctions du sol.
 - *Stimulation de l'activité microbienne* : inoculation de micro-organismes bénéfiques (bactéries, champignons, etc.) pour améliorer la structure du sol, favoriser la dégradation des matières organiques et augmenter la disponibilité des nutriments.
 - *Mycorhization* : introduction de champignons mycorhiziens pour établir des relations symbiotiques avec les racines des plantes, ce qui améliore leur absorption d'eau et de nutriments, et renforce la résistance des plantes aux stress environnementaux.
 - *Introduction ou facilitation de l'activité des vers de terre anéciques et épi-anéciques* : améliorent la structure du sol en créant des galeries qui facilitent l'infiltration de l'eau (macroporosité), et en produisant des turricules riches en matière organique qui favorisent la rétention d'eau (microporosité) ; et améliorent la fertilité physique, chimique et biologique du sol.

- *Végétalisation* : l'introduction de végétaux offre une ressource indispensable, en tant que producteur primaire, à l'ensemble des consommateurs du réseau trophique. De plus, la végétation constitue en elle-même un moyen biologique d'amélioration des sols (choix de légumineuses pour introduire de l'azote, etc.). Ainsi, au-delà des parties aériennes végétales, sources de nourriture (vivant ou en décomposition) à de nombreux organismes vivants, leur système racinaire va augmenter l'activité et la diversité microbienne.

💡 Bonne pratique

Les espèces « ingénieuses des écosystèmes » telles que les vers de terre (hors lombrics épigés) et les fourmis peuvent améliorer la structure du sol ou relancer son activité biologique grâce à leurs capacités de bioturbation.

La sélection de ces espèces doit se fonder sur une analyse préalable de l'état des sols afin de s'assurer que l'espèce introduite puisse se maintenir dans l'environnement dégradé, qu'elle soit adaptée à cet environnement, et qu'elle ne déséquilibre pas l'écosystème (par exemple, EVEE à proscrire)⁷⁵.

- L'introduction de microorganismes nécessite de recréer au préalable les conditions requises pour leur développement (habitat et nourriture), condition sans laquelle ils ne pourront pas coloniser le site. Si l'amélioration des fonctions du sol a permis de recréer un habitat capable d'accueillir les micro-organismes, ces derniers reviendront d'eux-mêmes.
- Si les organismes qui jouent un rôle amont dans la décomposition de la matière organique (cloportes, vers de terre, etc.) ne sont pas présents, la matière organique ne sera pas accessible aux microorganismes, rendant inutile leur introduction sur le site. Il est donc nécessaire de s'assurer de la présence de ces organismes en favorisant leurs habitats et une qualité et quantité de nourriture satisfaisante.

FOCUS

LA BIODIVERSITÉ DES SOLS

Pour une renaturation réussie, la fertilité biologique du sol est cruciale. Elle repose sur l'interaction entre bactéries, champignons, flore et faune du sol, qui régulent les cycles biogéochimiques, décomposent la matière organique et structurent le sol. Les organismes

ingénieurs, comme les vers de terre, jouent un rôle clef dans cette dynamique. En activant ces groupes biologiques, on dynamise le système, améliorant ainsi la fertilité et la production primaire du sol, éléments essentiels pour un développement durable de la végétation.

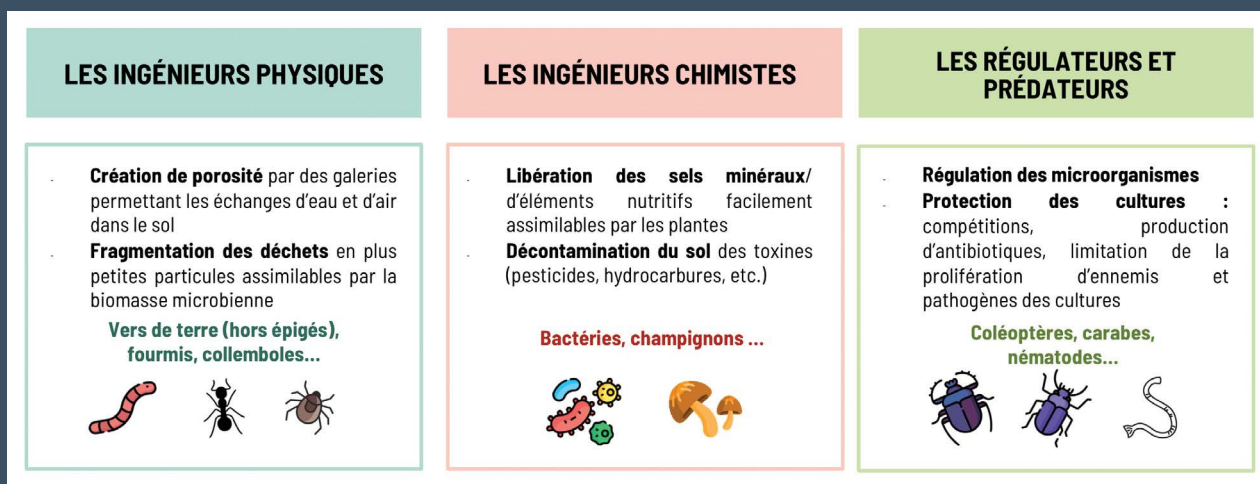


Figure 39: Les organismes du sol et leurs rôles © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière | Pictogrammes : Flaticon.com

L'association des techniques et stratégies combinées permet d'optimiser l'amélioration des sols en fonction des besoins spécifiques. Voici quelques exemples de combinaisons adaptées selon les contextes :

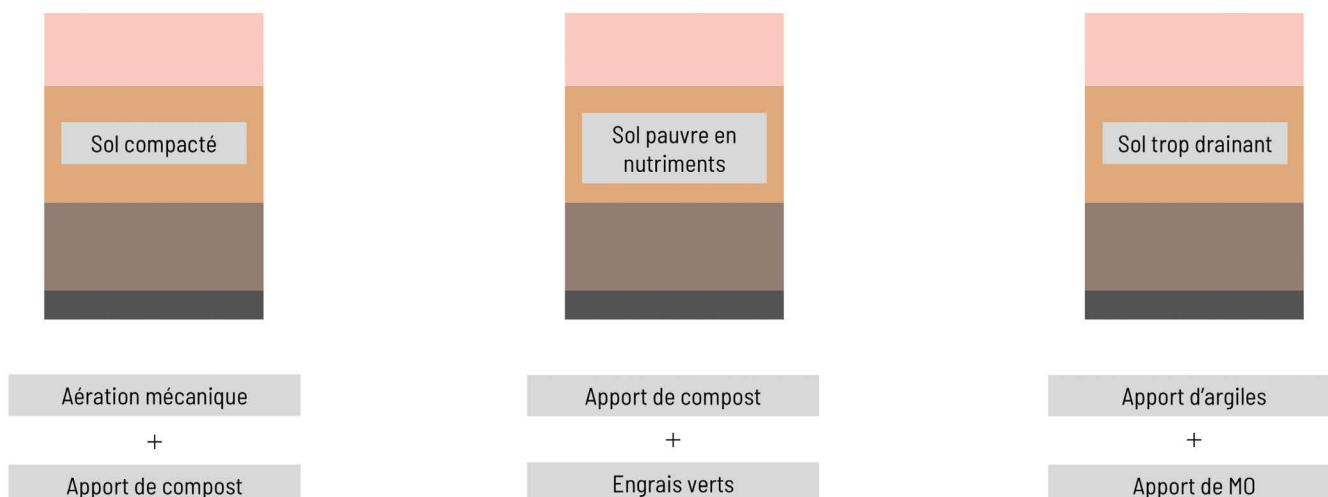


Figure 40: Exemples simplifiés d'amélioration de sol ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière |

La planification et le suivi des interventions sont essentiels pour garantir une amélioration durable des sols.



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique propose des pistes pour cadrer votre stratégie d'amélioration du sol.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je prévois les grandes étapes de mon projet : Je construis ma stratégie d'amélioration du sol ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

CONSTRUCTION DE TECHNOSOLS : UNE SOLUTION POUR LES SOLS FORTEMENT DÉGRADÉS

Si le sol est trop dégradé pour être refunctionalisé efficacement, la construction d'un nouveau sol fonctionnel peut être une alternative.

Ces sols artificiels sont élaborés à partir de matériaux recyclés (gravats, composts, sédiments) et conçus pour remplir des fonctions spécifiques (infiltration d'eau, support de végétation, etc.). Cette construction de sols peut intégrer des ressources issues du site lui-même ou d'autres chantiers, grâce à des plateformes de réemploi ou de stockage.

L'objectif de la construction de sols est de reproduire au mieux la structure d'un sol naturel fonctionnel en utilisant des matériaux adaptés à son usage spécifique. Chaque sol, composé d'horizons différenciés, doit être conçu en fonction de l'usage prévu du site ou de la portion de site et des fonctions écologiques attendues. La formulation du Technosol doit être précise et raisonnée afin de proposer un niveau de fonctionnalité adaptée aux objectifs de renaturation.



Définitions

D'après le référentiel pédologique international, les **Technosols** sont des sols artificiels (au moins 20% d'artefact), ou imperméabilisés par un matériau dur technique⁷⁶. Ils peuvent être conçus pour remplir des niveaux de fonctions écologiques proches de celles d'un sol naturel.

Ils se rapprochent du terme « **Anthrosols** » en usage dans le référentiel pédologique français. Celui-ci distingue deux groupes : les **Anthrosols construits** (avec matériaux anthropiques) et les **Anthrosols reconstitués** (avec matériau pédologique transporté).

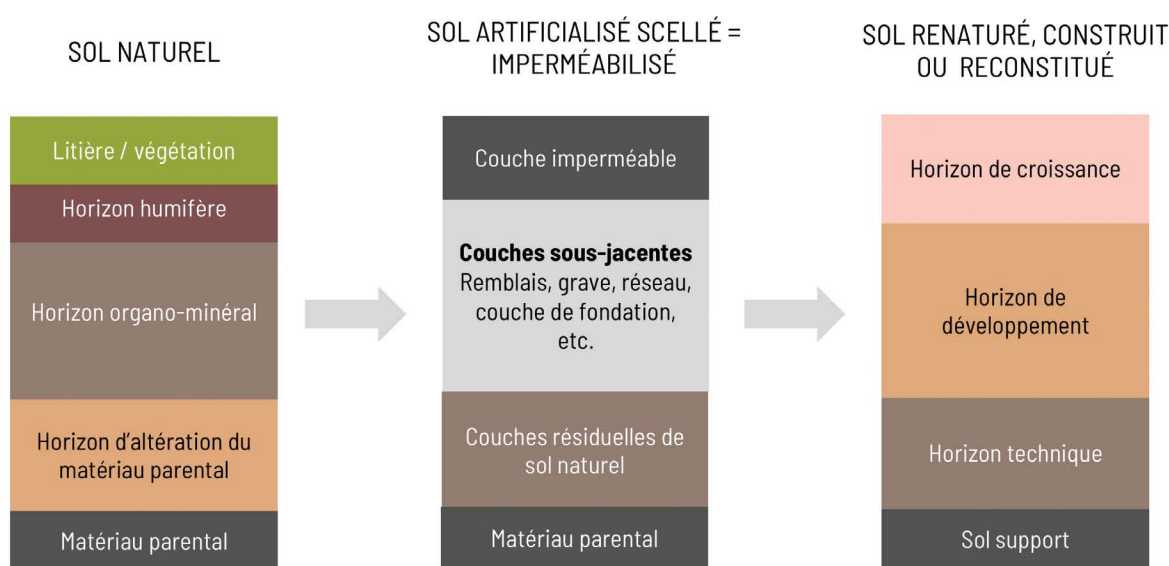


Figure 41 : Modèles de profils de sols © d'après les projets SITERRE et LOVER, Geoffroy Séré, et adaptés par ARP Astrance |

76 IUSS Working Group WRB, 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports n° 106. FAO, Rome.

La construction d'un Technosol repose sur l'assemblage de divers déchets et sous-produits organiques et minéraux, permettant d'atteindre une fonctionnalité écologique se rapprochant de celle d'un sol naturel. Ainsi, les sols peuvent être *reconstitués* à partir de matériaux pédologiques transportés ou *construits* à partir de matériaux anthropiques (déchets locaux organiques et minéraux dans une démarche d'économie circulaire). En effet, les déchets et leur mélange sont choisis pour obtenir les propriétés souhaitées, pour que le sol construit remplisse les fonctions choisies. Contrairement à une simple reconstitution⁷⁷, la construction de sols implique l'incorporation de quantités significatives de matériaux exogènes, organisés en horizons fonctionnels distincts :

- **Horizon de croissance** : support du développement racinaire et source de nutriments ;
- **Horizon de développement** : stabilité structurale et stockage hydrique ;
- **Horizon technique** : drainage, rétention des nutriments, portance et durabilité.

La construction de mélanges spécifiques pour chaque horizon est essentielle pour répondre aux exigences de l'usage prévu.

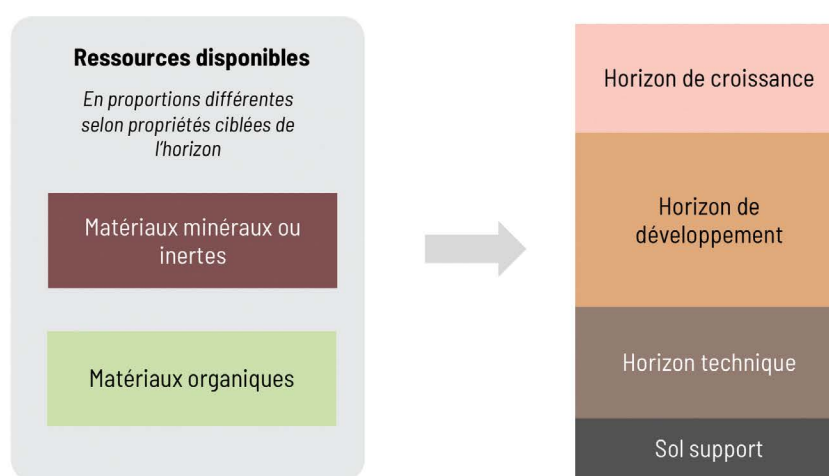


Figure 42 : Schéma de méthode de construction de sols, d'après les projets SITERRE et LOVER, Geoffroy Séré, et adapté par ARP Astrance

Dans une perspective d'économie circulaire et de réemploi, la construction de sols s'appuie sur la valorisation de matériaux disponibles sur site ou à proximité, organisés en couches ou horizons fonctionnels⁷⁸. Cette technique repose sur l'association de substrats minéraux et organiques, sélectionnés pour leurs propriétés spécifiques et leur adéquation avec les objectifs du projet.

- Exemples de substrats minéraux ou inertes

- Ballast, béton concassé, briques : matériaux issus de démolitions et de travaux publics ;
- Déchets du bâtiment : résidus de construction et de rénovation ;
- Terres excavées (basiques, neutres ou acides) : terres provenant de terrassements et de creusements ;

- Sablons d'excavation, déblais de chantier : matériaux granulaires fins à grossiers issus de travaux de terrassement.

- Exemples de substrats organiques

- Déchets verts broyés, compost : matières organiques issues de la décomposition végétale ;
- Sous-produits papetiers, déchets de rue : résidus issus de l'industrie papetière et du nettoyage urbain ;
- Boues de stations d'épuration : matières organiques issues du traitement des eaux usées ;
- Drêche de bière, marc de café, bois broyé, biodéchets : résidus organiques issus de l'industrie agroalimentaire et de la collecte des déchets organiques.

⁷⁷ Le Référentiel pédologique français (Afe, 2008, p.90) distingue les *anthroposols* (ici nommés *technosols*) *construits*, des *anthroposols reconstitués*. Les *anthroposols reconstitués* sont majoritairement constitués de matériaux *pédologiques* apportés (sur au moins 50 cm) : les sols reconstitués à partir de terre végétale décapée peuvent relever de cette catégorie. Les *anthroposols construits*, quant à eux, sont issus de matériaux *technologiques* apportés (déchets).

⁷⁸ Fabbri D. et al., 2021. « Constructed Technosols: A Strategy toward a Circular Economy. » *Applied sciences*. 11 : 3432.

FOCUS

LES TERRES IMPORTÉES

S'il n'est pas possible de réaliser un sol sur site ou de réutiliser des matériaux à cause de certaines contraintes, des plateformes spécialisées peuvent fournir de la terre. Ces filières de valorisation de site à site, des plateformes de transit et de regroupement, des centres de traitement et des filières agréées de gestion des terres offrent des solutions pour le traitement et la valorisation des matériaux.

Exemples de types de terres apportées :

- Terre végétale (norme NF U 44-551) : terres arables amendées, conformes à la dénomination de la norme NFU-44-551 (Supports de Culture).
- Mélange terre-pierres : substrat associant un volume V de pierres dures (granulats anguleux d/D de calibre 40/80 mm ou 50/100 mm [$D < \text{ou} = 2 \times d$]) à un volume = $0,4 \times V$ de terre support ou terre végétale (au sens des dénominations de la NF U 44-551). Le volume de terre s'incorpore dans le volume de pierres. Ainsi en mélangeant $V = 5 \text{ m}^3$ de Granulats d/D avec $0,4 \times 5 = 2 \text{ m}^3$ de Terre sèche on obtient un volume V de 5 m^3 de

Mélange Terre Pierres après incorporation et compactage.

- Substrats de plantation circulables : similaires aux mélanges terre-pierres mais avec une fertilité plus limitée.
- Granulats de carrière : roche dure, utile pour la stabilisation des sols mais posant des problèmes de ressource et de transport.
- Terres excavées amendées : appelées parfois « terres végétales recyclées » ou « substrat fertile », elles peuvent être enrichies en matière organique sur des plateformes spécialisées ou sur site (se référer à la partie *Stockage et réemploi des terres excavées*).

Néanmoins, il est crucial de réaliser une mise en place des sols en affectant les matériaux aux horizons appropriés, et de déterminer l'épaisseur appropriée pour chaque horizon (par exemple, il est inutile de mettre de la terre végétale au-delà de 30 ou 40 cm de profondeur).

L'utilisation de terre végétale n'est cependant pas optimale dans une démarche de sobriété et de circularité des flux, car elle suppose généralement le décapage de terres arables.

- Intégration des principes de durabilité

Pour garantir un sol fonctionnel et durable, certaines orientations stratégiques doivent guider les projets :

- **Privilégier des solutions circulaires** : utiliser les matériaux présents sur site ou à proximité pour réduire les coûts et l'impact écologique ;
- **Adapter la formulation des sols** : ajuster les mélanges en fonction des objectifs fonctionnels et des contraintes du site (infiltration, portance, végétation prévue) ;
- **Suivre les sols après travaux** : mettre en place des indicateurs permettant de mesurer leur fonctionnalité dans le temps et d'assurer un suivi pour adapter la gestion des sols.



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique propose une aide à la définition de sa stratégie de construction de sol.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je prévois les grandes étapes de mon projet : Je construis ma stratégie de construction de sol ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

 Pour aller plus loin
Projet SITERRE :

- *Rapport final*, 2015
- *Créer des sols fertiles, Du déchet à la végétalisation urbaine*, Ouvrage issu du projet SITERRE, Damas O. (coord.), Coulon A. (coord.), 2016.

Projet SITERRE 2 :

- *Vers une filière éco-efficace de valorisation de déchets et sous-produits industriels ou urbains pour développer des sols fertiles (2022-2026)*, porté par Plante & Cité.

Projet GeoBapa : référentiel de fond pédogéochimique du bassin parisien. BRGM, depuis 2016.

Construire un sol fertile à partir de déchets, BRGM

FOCUS

LE FOND PÉDOGÉOCHIMIQUE ANTHROPIsé (FPGA)

Les sols urbains et péri-urbains présentent souvent des teneurs relativement élevées en éléments traces potentiellement toxiques et/ou en divers composés organiques plus ou moins persistants. Dans de nombreux cas cependant, aucune source de pollution ne peut être identifiée précisément, la contamination du sol étant due à des émissions diffuses, ayant impacté de vastes surfaces sur de très longues périodes (chauffage des habitations, circulation automobile, retombées industrielles, etc.). Afin de mieux évaluer les enjeux sanitaires et environnementaux de ces contaminations diffuses, l'ADEME et le BRGM ont, depuis le début des années 2010, initié une démarche d'évaluation nationale et de bancarisation de la contamination des sols urbains⁷⁹. L'ensemble des données disponibles a été compilé dans la base de données BDSolU, accessible en ligne.

Alors que les fonds pédogéochimiques naturels renseignent sur les gammes de valeurs habituelles observables dans les sols non soumis à l'influence humaine, le fond pédogéochimique anthropisé correspond aux teneurs habituelles des principaux contaminants dans les couches superficielles des sols (urbains, agricoles, prairiaux ou forestiers) exposés à des apports diffus, dûs aux activités humaines présentes ou passées⁸⁰.

LdB (mg/kg_MS)	FPGA		FPGN	TEX niveau 1	ASPITET niveau 2 (anomalie modérée)
	Zones urbaines	Zones vertes			
As	55	30	30	25	30 - 60
Ba	285	160	160	150	-
Cd	1	0,6	0,6	0,4	0,7 - 2
Cr total		50	50	90	90 - 150
Cu	100	45	35	40	20 - 62
Hg		1,0	0,2	0,1	0,15 - 2,3
Mo		4	2	1,5	-
Ni		40	40	60	60 - 130
Pb	215	120	55	50	60 - 90
Zn	265	155	120	150	100 - 250
16HAP		10	2	10	-
7PCB		0,1	0,07	0,1	-

Figure 43 : Exemples de calculs de valeurs de fonds ©
Tableau adapté par l'Institut de la Transition foncière,
d'après eOde / Métropole de Lyon

FPGA : Fonds pédogéochimique anthropisé (BDSolU)
FPGN : Valeur basse de la gamme de teneurs couramment
observées dans le cas d'anomalies naturelles (INRAE).

Le fond pédogéochimique anthropisé ne doit pas être assimilé à un niveau de pollution acceptable pour un usage donné. Il s'agit simplement d'un référentiel permettant de définir, pour chaque substance, une ligne de base au-dessus de laquelle les concentrations mesurées marqueront une « anomalie anthropique » (c'est-à-dire une teneur inhabituellement élevée, par rapport au référentiel déjà anthropisé).

79 BDSolU, Base de données des analyses de sol urbain (2025)

80 ADEME, 2018. *Méthodologie de détermination des valeurs de fonds dans les sols : Échelle d'un site*. Groupe de travail sur les valeurs de fonds. 107 p

RÉAMÉNAGEMENT ÉCOLOGIQUE

En bref

Qui ? #MOA, #MOE, #Paysagiste et #Écologue

Quelle phase de projet ? #Conception et Réalisation

Objectif : Favoriser un retour de la biodiversité.

Cette étape finale vise à favoriser le retour de la biodiversité et à recréer des habitats naturels adaptés. Elle implique des écologues et peut faire appel à des entreprises spécialisées en restauration écologique. Ils travaillent sur la plantation, la gestion de la végétation spontanée et la création d'habitats naturels propices à la biodiversité.

⚠ Point d'attention

Dans la mise en place de sols fonctionnels, un sol fertile n'est pas toujours souhaitable. Les fonctions du sol et ses caractéristiques doivent être adaptées à l'usage et aux milieux souhaités. En effet, toutes les espèces végétales n'ont pas les mêmes besoins en nutriments. Par exemple, certains milieux prairiaux nécessitent un sol pauvre en nutriments.

Sélection de la végétation

Dans sa dimension écologique, la renaturation vise à restaurer les communautés végétales par **régénération naturelle** ou **recolonisation assistée**. Si la recolonisation assistée est envisagée pour le projet, la sélection végétale doit être réfléchie et stratégique.

Le choix des espèces doit garantir la résilience des écosystèmes et leur adaptation aux conditions locales et aux changements climatiques. Au-delà de la simple préférence pour les espèces indigènes, il est impératif de considérer le contexte spécifique du site, les usages qui y seront associés et la plasticité des végétaux.

LES AVANTAGES INDÉNIABLES DES ESPÈCES INDIGÈNES

Les espèces indigènes, adaptées aux conditions environnementales locales, présentent de nombreux atouts. Elles réduisent les besoins en interventions humaines et en ressources, ne nécessitant pas d'apport d'eau, de fertilisants et de traitements phytosanitaires. Elles contribuent également à **préserver la diversité génétique**, un facteur essentiel pour l'adaptation aux changements climatiques⁸¹. De plus, elles favorisent l'installation d'un écosystème riche et équilibré, attirant insectes, invertébrés du sol et micro-organismes symbiotiques.

💡 Bonne pratique

L'initiative « Végétal Local » permet d'assurer une sélection rigoureuse d'espèces indigènes d'origine génétique locale adaptées aux contextes régionaux.



UNE APPROCHE NUANCÉE ET CONTEXTUELLE

Cependant, il est important de ne pas adopter une vision dogmatique et de considérer les spécificités de chaque projet. Dans les environnements urbains, où les **effets du changement climatique** sont amplifiés, les espèces végétales indigènes peinent à s'adapter aux stress croissants. Les approches de sélection axées sur la résistance permettent de développer des espèces ornementales mieux adaptées à ces milieux, plus tolérantes aux conditions difficiles. Ainsi, l'intégration de variétés de plantes résilientes dans

81 Ram H., 2024. « Adaptation Strategies of Plants to Climate Change: Mechanisms and Implications. » *RESEARCH REVIEW - International Journal of Multidisciplinary*, 9(3) : 312-319.

ces environnements urbains devient particulièrement pertinente⁸². De même, les usages du site (par exemple espaces publics et à forte fréquentation) peuvent justifier l'introduction d'espèces indigènes issues de la sélection horticole, voire non indigènes (végétation colorée, ombrage, plantes odorantes, végétaux comestibles ou sans risques, en évitant les espèces toxiques, allergisantes ou épineuses). L'objectif est de créer un équilibre harmonieux entre espèces indigènes et non indigènes, en fonction du contexte et des objectifs du projet.

STRATÉGIES DE VÉGÉTALISATION : ADAPTER LES ESPACES AUX OBJECTIFS

La réussite d'un projet de renaturation repose sur la création d'un paysage végétal diversifié et fonctionnel, où chaque zone est soigneusement planifiée en fonction de ses usages, de ses fonctions écologiques et des objectifs globaux du projet. Cette approche stratégique permet de maximiser les bénéfices écologiques, esthétiques et fonctionnels, en intégrant une mosaïque d'espaces tels que des :

- **Zones de naturalité spontanée** : Ces espaces sont dédiés à la libre expression de la nature, favorisant la biodiversité locale et les dynamiques écologiques plus « naturelles ». Ils offrent un refuge pour les espèces indigènes, permettant leur développement sans intervention humaine excessive.
- **Zones de naturalité semées ou plantées** : Les zones de naturalité semées ou plantées accélèrent la restauration écologique par une sélection et une implantation d'espèces indigènes adaptées. Elles recréent des habitats spécifiques (prairies, bosquets, zones humides) en s'inspirant des écosystèmes et cortèges floristiques locaux, offrant refuges et ressources à la faune, tout en renforçant la connectivité écologique. Le choix d'introduire des espèces mellifères peut notamment permettre de favoriser la présence des pollinisateurs. Dans une approche de renaturation plus fine, des techniques complémentaires comme le transfert de foin, la transplantation de mottes ou encore l'installation de pièges à graines peuvent être mobilisées pour favoriser une dynamique végétale spontanée, en lien avec les milieux ciblés.
- **Zones d'agrément paysager** : Conçues pour valoriser l'esthétique du site et, de plus en plus, contribuer à réduire le risque environnemental, ces zones intègrent des espèces végétales sélectionnées pour leurs qualités ornementales (couleurs, formes, parfums). Elles peuvent intégrer des végétaux indigènes, par mixité végétale. Elles contribuent à l'attractivité visuelle du projet, à l'adaptation du

site au changement climatique et au bien-être des usagers.

- **Zones de fonctionnalité ciblée** : Ces espaces sont aménagés pour répondre à des besoins spécifiques, tels que la création d'ombre, la phytoremédiation des sols ou la production de ressources alimentaires. Leur conception repose sur des critères techniques et écologiques précis, visant à optimiser les services rendus par la végétation.

ADAPTATION AU SOL ET AUX CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

La sélection végétale doit être rigoureusement adaptée aux caractéristiques du sol et du climat local :

- **Texture du sol** : sol sableux, argileux, limoneux, argilo-sableux, etc.
- **pH du sol** : acide, neutre ou basique ;
- **Teneur du sol en matière organique** ;
- **Profondeur du sol et capacité de rétention d'eau** : sol drainant, gorgé d'eau, sec, etc. ;
- **Exposition du site** : ensoleillement, ombrage, exposition au vent ;
- **Climat local** : pluviométrie, extrêmes de températures ;
- **Topographie du site** : pentes, zones humides, zones sèches ;
- **Tolérance de la sélection végétale au calcaire actif** ;
- **Rusticité de la sélection végétale**.

Une adéquation parfaite entre le sol et la végétation garantit une implantation durable et limite les besoins en entretien. L'utilisation de bases de données scientifiques et écologiques, telles que [Floriscope](#)⁸³, permet de définir des palettes végétales spécifiques et adaptées au site.

DIVERSITÉ DES ESPÈCES ET DES STRATES VÉGÉTALES

Une **végétation diversifiée est essentielle pour créer des écosystèmes équilibrés et résilients**. Il est crucial d'intégrer différentes strates végétales : arbres, arbustes, herbacées et plantes grimpantes, ainsi que diverses espèces au sein de chaque strate. L'implantation doit être conçue en cortège végétal, intégrant des espèces complémentaires qui renforceront la stabilité et la résilience de l'écosystème.

⁸² Kisvarga S., Horotán K., Wani M.A., Orlóci L., 2023. « [Plant Responses to Global Climate Change and Urbanization: Implications for Sustainable Urban Landscape](#) ». *Horticulturae* 9(9) : 1051.

⁸³ Application [Floriscope](#), développée par Plante & Cité pour permettre aux professionnel·les de connaître, choisir et trouver leurs végétaux.

La diversification des périodes de végétation et de floraison, à travers l'intégration de plantes à cycles de vie variés, est un levier essentiel pour renforcer la résilience et la fonctionnalité des écosystèmes renaturés. L'introduction de bulbeuses à floraison

précoce, par exemple, permet de capitaliser sur les conditions climatiques favorables du début de printemps, une période souvent sous-exploitée par les espèces à floraison estivale ou automnale.

LE CHOIX DE LA PALETTE VÉGÉTALE : DIVERSIFIER LES STRATES



Figure 44 : Les différentes strates végétales ©ARP Astrance |

LA PLASTICITÉ VÉGÉTALE : UN CRITÈRE ESSENTIEL

La plasticité végétale, c'est-à-dire la **capacité d'une plante à s'adapter à différentes conditions environnementales**, est un critère essentiel à considérer. La plasticité est liée à deux facteurs : la variabilité génétique des plantes, des populations plantées et la diversité des espèces constituant la plantation. Il est donc recommandé de vérifier la variabilité génétique des essences auprès des producteurs et de multiplier les espèces plantées. Cette capacité d'adaptation permet aux plantes de mieux résister aux variations de leur environnement, telles que les variations hydriques, thermiques, la nature du sol ou l'exposition⁸⁴. En tenant compte de la plasticité végétale, il est possible de sélectionner des espèces plus résilientes, de réduire les besoins en entretien et de favoriser la pérennité des plantations. Certaines

plantes possèdent une grande plasticité et s'adaptent mieux aux environnements contraints, notamment en milieu urbain. La sélection des espèces doit tenir compte de :

- Leur capacité d'évapotranspiration ;
- Leur tolérance aux variations hydriques et climatiques ;
- Leur mode de stockage des nutriments (par exemple, bulbeuses et rhizomateuses comme l'Iris nain, résistant et pouvant survivre jusqu'à 20 ans).

Un plan de plantation précis peut être établi pour assurer une répartition équilibrée entre plantes à réserve et plantes évapotranspirantes. Un exemple concret des limites d'une approche non nuancée est le recours systématique à des espèces méditerranéennes peu évapotranspirantes, qui peuvent réduire le potentiel de rafraîchissement et peiner à s'établir lors d'épisodes de pluies abondantes et régulières.

84 Ram H., 2024, *op. cit.*

⚠ Point d'attention

Même avec une approche de gestion libre, il est indispensable de surveiller la colonisation par des espèces exotiques envahissantes. Un suivi régulier et une gestion adaptée doivent être mis en place pour éviter la prolifération de ces espèces, qui peuvent compromettre la fonctionnalité de l'écosystème renaturé.

UTILISATION DES PLANTES PIONNIÈRES

Les plantes pionnières jouent un rôle clef dans la régénération des sols dégradés. Elles améliorent la structure et la chimie du sol, facilitent l'implantation des espèces plus exigeantes et stabilisent les écosystèmes en transition. De plus, en occupant une niche écologique définie spatialement, elles peuvent être utilisées dans le cadre de la lutte contre les espèces exotiques envahissantes. Il peut être intéressant de chercher à les implanter.

💡 Bonne pratique

La présence d'un·e écologue lors de la livraison des végétaux pourra permettre de garantir leur conformité (par exemple taille à la livraison).

UNE DÉMARCHÉ PERSONNALISÉE ET COLLABORATIVE

La sélection des végétaux doit être alignée sur les objectifs globaux du projet, qu'ils soient écologiques, sociaux ou esthétiques. Un **dialogue étroit et continu entre les différents acteurs du projet** (paysagistes, écologues, pédologues, usager·es, producteur·ices, etc.) est indispensable pour garantir la réussite de la démarche. Les retours d'expérience de projets similaires sont une source d'inspiration précieuse pour affiner la sélection et optimiser les résultats.

Travailler un couple sol-végétation écologiquement fonctionnel

L'objectif est de créer des habitats favorables à des espèces cibles, présentes aux alentours, ou manquant d'habitats dans la zone. Pour cela, il est essentiel de suivre les préconisations de l'écologue afin de s'assurer que les **habitats créés répondent aux besoins spécifiques des espèces cibles**.

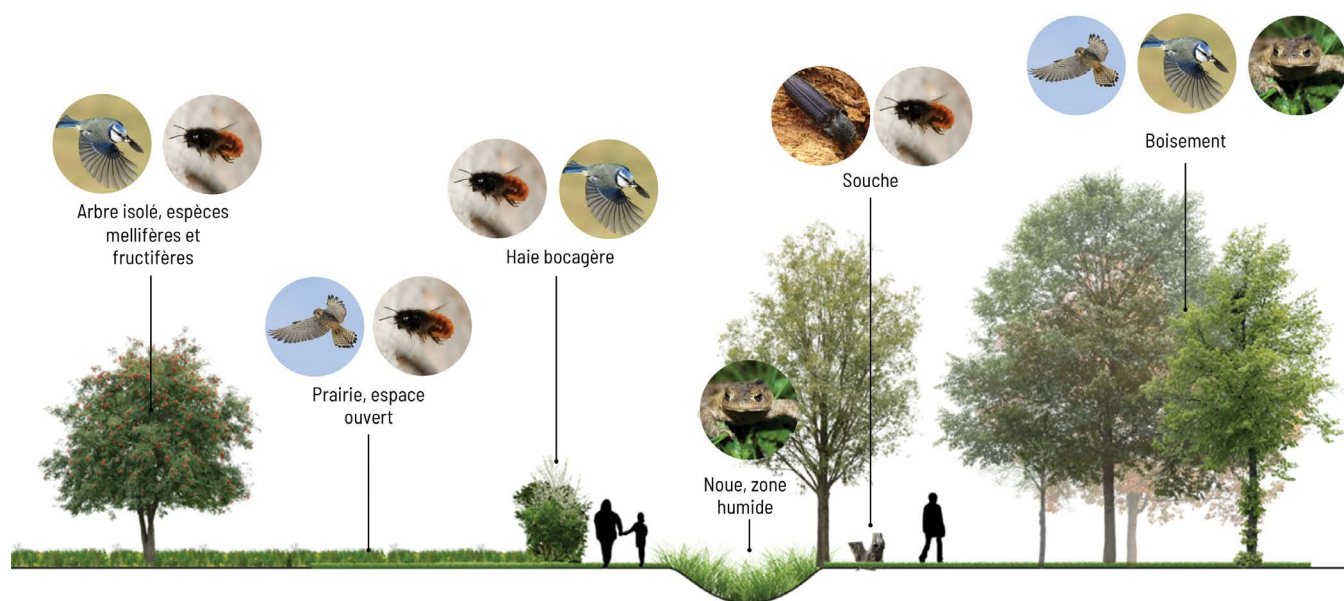


Figure 45 : Diversité d'habitats spécifiques à la faune ©ARP Astrance |

MILIEUX FERMÉS (URBAINS ET NON URBAINS)

Les milieux fermés, qu'ils soient en contexte urbain ou rural, se caractérisent par un couvert végétal dense et continu. En ville, cela peut se traduire par des **boisements urbains, des parcs arborés denses**, ou même des cours intérieures fortement végétalisées. Ils offrent des **îlots de fraîcheur**, réduisent les effets d'îlots de chaleur urbains, et fournissent des habitats pour la faune urbaine (oiseaux, insectes, petits mammifères). En milieu naturel, les forêts et les boisements jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat et la conservation de la biodiversité. Dans les deux contextes, la présence de strates végétales variées et de microhabitats est cruciale pour la biodiversité.

Dans ces milieux, le sol, souvent riche en matière organique, favorise une bonne rétention d'eau et une intense activité biologique. La zone d'interaction entre les racines des arbres et les communautés microbiennes (bactéries, champignons mycorhiziens) joue un rôle essentiel dans l'acquisition des nutriments. La faune édaphique (vers de terre, collemboles, acariens,

La diversité des niches écologiques est également un facteur clef pour favoriser une biodiversité riche et équilibrée. Il est donc essentiel de concevoir une **mosaïque d'habitats** variés, capables d'accueillir une multitude d'espèces différentes. Enfin, la **connectivité des habitats** doit être minutieusement étudiée, afin de permettre aux espèces de se déplacer et de migrer librement. Cette connectivité est cruciale pour assurer leur survie et leur reproduction à long terme. L'implantation des milieux créés doit donc tenir compte des continuités écologiques environnantes mais aussi des **propriétés du sol** sur les différentes portions du site.

etc.) et les micro-organismes décomposent la matière organique, libérant ainsi des nutriments essentiels pour la croissance des plantes et contribuant à la formation de l'humus, réservoir de carbone et de nutriments. La structure du sol, influencée par la pédogenèse et l'activité biologique, détermine sa capacité de rétention d'eau, sa porosité et la circulation des éléments.

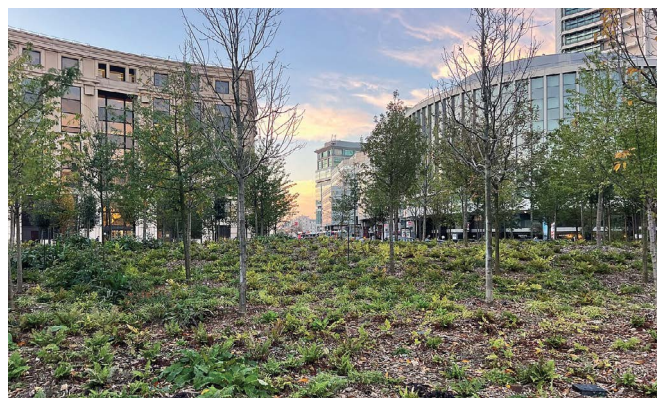


Figure 46 : Forêt urbaine de la Place de la Catalogne, Paris © Chabe01, CC BY-SA |

MILIEUX SEMI-OUVERTS (URBAINS ET NON URBAINS)

Les milieux semi-ouverts présentent une mosaïque d'habitats, avec une alternance de zones arborées, arbustives et herbacées. En ville, cela peut inclure des friches urbaines en transition, des berges de cours d'eau renaturées, des parcs avec des zones de prairies et de bosquets, ou des jardins partagés avec des haies et des arbres fruitiers. En milieu rural, les bocages et les lisières forestières sont des exemples typiques. Ces milieux favorisent la connectivité écologique, en permettant aux espèces de se déplacer entre différents habitats. Ils offrent également des ressources alimentaires et des abris pour la faune.

Le sol dans ces milieux est diversifié, avec des zones de sol plutôt nu, des zones de sol couvert de litière et des zones de sol enherbé avec une teneur en matière organique variable. L'activité biologique reste importante, mais peut être plus inégale en fonction des conditions locales (humidité, type de végétation, etc.). Cette diversité favorise une variété de microhabitats et une grande richesse biologique.

MILIEUX OUVERTS (URBAINS ET NON URBAINS)

Les milieux ouverts secs, caractérisés par une végétation herbacée dominante, jouent un rôle essentiel dans la biodiversité, tant en milieu urbain que naturel. En ville, ils se manifestent sous diverses formes : prairies et pelouses de classe 2 à 3⁸⁵ dans les parcs, pelouses sèches sur terrains en pente, jardins de pluie ou terrains de sport. Ces espaces contribuent significativement à la biodiversité urbaine, attirant les pollinisateurs et offrant des habitats précieux pour les oiseaux. En milieu naturel, les prairies et les pelouses sont des exemples typiques de milieux ouverts. Leur végétation, d'une grande diversité, varie considérablement en fonction de facteurs tels que l'hygrométrie, la topographie, l'exposition, le climat et les pratiques de gestion. Cette diversité floristique est cruciale pour la biodiversité, car elle offre une variété de ressources et d'habitats pour de nombreuses espèces. Que ce soit en milieu urbain ou naturel, la richesse floristique et la présence de microhabitats (tas de pierres, bois mort) sont des éléments déterminants pour la biodiversité. La diversité floristique, quant à elle, soutient une chaîne alimentaire complexe et favorise la présence de pollinisateurs, essentiels à la reproduction de nombreuses plantes.

Le sol dans ces milieux peut être bien drainé, ce qui favorise la croissance des plantes adaptées aux conditions sèches. Il joue un rôle important dans la régulation du cycle de l'eau, dans la séquestration du carbone et présente un habitat pour les organismes du sol. Certaines prairies de milieu urbain peuvent être particulièrement riches en matières organiques.



Figure 47 : Prairie fleurie, Allemagne © CC BY-SA |

Tableau 9 : Typologies des milieux ouverts selon les caractéristiques du sol

TYPE	CARACTÉRISTIQUES DU SOL	CONDITIONS NÉCESSAIRES
Prairie humide	Sols saturés en eau, souvent argileux ou limoneux, parfois tourbeux	Proximité d'un cours d'eau ou d'une nappe phréatique élevée, drainage limité, pH neutre à légèrement acide
Prairie de fauche	Sols fertiles, profonds, texture équilibrée, bonne capacité de rétention d'eau	Humidité suffisante, pH neutre à légèrement acide, gestion de la fauche
Prairie pâturée	Sols variés, tolérance aux piétinements, capacité de régénération après pâturage	Accès à l'eau, gestion du pâturage pour éviter le surpâturage, sols variés
Pelouse sèche	Sols pauvres, sableux ou caillouteux, bien drainés	Exposition ensoleillée, faible pluviométrie, pH variable, tolérance à la sécheresse
Roselière	Sols très humides à inondés, souvent argileux ou limoneux	Présence d'eau stagnante ou à faible courant, pH neutre à légèrement alcalin, ensoleillement
Tourbière	Sols très acides, pauvres en nutriments, saturés en eau, composés de tourbe	Climat frais et humide, faible drainage, pH très acide

STRUCTURES LINÉAIRES (HAIES, CORRIDORS URBAINS)

Les structures linéaires, telles que les haies, jouent un rôle crucial dans la connectivité écologique, en reliant les différents types de milieux. En milieu urbain, cela peut inclure des haies le long des rues, des corridors verts le long des voies ferrées ou des cours d'eau, ou des murs végétalisés connectés. Elles offrent des abris, des sites de nidification et des sources de nourriture pour la faune urbaine. En milieu rural, les haies bocagères sont des exemples typiques **et ont un effet bénéfique sur l'érosion et le lessivage des sols**. Dans les deux contextes, la diversité des espèces végétales et la continuité des structures linéaires sont essentielles pour la biodiversité en créant ou en maintenant des continuités vertes et brunes.

Le sol dans ces structures est souvent perturbé par les activités humaines (routes, bâtiments), mais ces haies peuvent jouer un rôle important dans le maintien des sols en place et la réduction de l'érosion des sols à proximité, la filtration et l'infiltration de l'eau, et la séquestration du carbone.



Figure 48 : Haie diversifiée ©Ideopaysage |

MILIEUX HUMIDES ET AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES

Les milieux humides, tels que les zones riveraines des cours d'eau, les aménagements de gestion des eaux pluviales et les mares sont d'une importance capitale pour la biodiversité. Ils servent de zones de reproduction et d'alimentation pour de nombreuses espèces aquatiques et semi-aquatiques. Les aménagements hydrauliques, tels que la création de zones de rétention d'eau, la restauration de méandres de rivières et la mise en place de zones tampons végétalisées, contribuent à la régulation des crues, à l'amélioration de la qualité de l'eau et à la création de nouveaux habitats pour la faune et la flore. En milieu urbain, les jardins de pluie, les noues et les fossés participent également à la gestion durable des eaux pluviales et à la création d'îlots de fraîcheur. La préservation et la restauration de ces milieux sont essentielles pour maintenir la biodiversité et assurer la résilience des écosystèmes face aux changements climatiques.

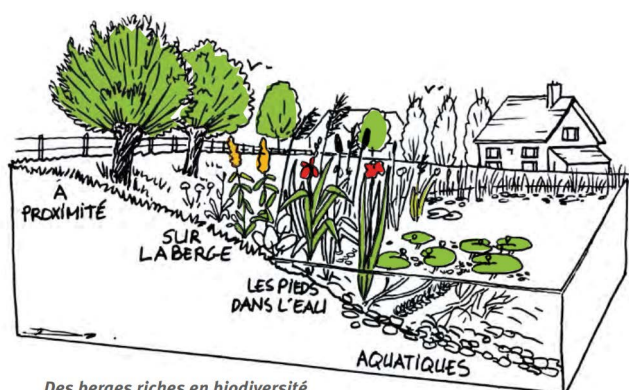
Le sol dans ces milieux est souvent saturé en eau, ce qui crée des conditions particulières pour la croissance des plantes, micro-organismes et pour la faune. Il joue un rôle essentiel dans la filtration de l'eau, la régulation des nutriments et la séquestration du carbone. La rhizosphère, zone du sol sous l'influence de l'activité racinaire, joue un rôle crucial dans la régulation des échanges hydriques et nutritifs. Les processus de dénitrification et de méthanogenèse, réalisés par les micro-organismes anaérobies, influencent la composition de l'atmosphère et les cycles biogéochimiques. Il sert également d'habitat pour de nombreuses espèces aquatiques et semi-aquatiques.



Figure 49 : Parc des docks de Saint-Ouen © Lektz, CC BY-SA |

Tableau 10 : Typologies de zones humides en fonction de caractéristiques pédologiques généralement observées

TYPE D'HABITAT DE ZONE HUMIDE	DESCRIPTION	CONDITIONS NÉCESSAIRES (PÉDOLOGIE ET TOPOGRAPHIE)
Mare	Plan d'eau peu profond, rives à pente douce, végétation aquatique et semi-aquatique, habitat pour amphibiens et insectes aquatiques	Sols argileux, en bas de pente pour récupérer les eaux pluviales et de ruissellement
Noüe végétalisée infiltrante	Ouvrage de gestion des eaux pluviales, favorise l'infiltration, végétation résistante à l'érosion et adaptée aux variations d'eau, ralentissement des flux	Sols perméables, entretien régulier de la végétation, pente douce
Noüe végétalisée drainante	Ouvrage de gestion des eaux pluviales, favorise l'écoulement contrôlé, végétation résistante à l'érosion et adaptée aux variations d'eau, canalisation des flux	Sols perméables, entretien régulier de la végétation, pente prononcée
Noüe végétalisée mixte	Ouvrage de gestion des eaux pluviales combinant infiltration et drainage, végétation résistante à l'érosion et adaptée aux variations d'eau, régulation des flux	Sols variés, entretien régulier de la végétation, pente variable
Fossé végétalisé infiltrant	Ouvrage de gestion des eaux pluviales, favorise l'infiltration, rives en pente douce, végétation aquatique et semi-aquatique, habitat pour une faune diversifiée	Sols drainants, gestion des flux d'eau, entretien pour éviter l'envasement
Fossé végétalisé de rétention	Ouvrage de gestion des eaux pluviales, retient temporairement l'eau, rives en pente raide, végétation aquatique et semi-aquatique, habitat pour une faune diversifiée	Sols argileux ou limoneux, gestion des flux d'eau, entretien pour éviter l'envasement
Roselière	Zone humide dominée par les roseaux, filtration de l'eau, habitat pour une faune diversifiée	Sols humides, présence d'eau stagnante ou à faible courant, ensoleillement
Prairie humide	Prairie inondable de façon saisonnière, flore adaptée à l'humidité, habitat pour oiseaux et insectes	Sols humides, présence d'une nappe phréatique proche de la surface ou topographie favorable, gestion des fauches
Zone riveraine (berges de cours d'eau)	Bande de végétation bordant un cours d'eau, stabilisation des berges, filtration de l'eau, habitat pour de nombreuses espèces	Sols variés, présence d'un cours d'eau, gestion de la végétation



Des berges riches en biodiversité

À proximité : Aulne glutineux, Bouleau pubescent, Osier des vanniers, Saule blanc, Saule marsault

Sur la berge : Benoîte des ruisseaux, Bugle rampante, Cardamine des prés, Lysimaque nummulaire, Populage des marais, Reine des prés, Salicaire commune, Valériane officinale

Les pieds dans l'eau : Iris des marais, Nénuphar blanc, Sagittaire, Salicaire

Aquatiques : Butome en ombrelle, Nénuphar commun, Nénuphar blanc, Potamogeton nageant, Sagittaire

Figure 50 : Guide éco-jardin © PNR de la Haute Vallée de Chevreuse

Pour des berges écologiquement fonctionnelles, la création d'un gradient d'humidité avec des paliers et des pentes variées permet d'augmenter les niches écologiques pour la végétation. Les plantes adaptées à chaque zone (aquatiques, hygrophiles, terrestres), favoriseront une faune diverse⁸⁶.



Figure 51 : Zone humide de Fitjar, Norvège © Magne Roed, Pexels, libre de droit



Figure 52 : Restauration écologique d'un cours d'eau dans le district de Sacramento, Etats-Unis © U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento District, Public domain

💡 Bonne pratique

Pour compléter ces milieux et renforcer l'accueil de la biodiversité, divers aménagements peuvent être installés afin d'offrir des refuges aux espèces locales :

- Nichoirs pour oiseaux et chauves-souris ;
- Micro-habitats favorables aux insectes et aux petits mammifères ;
- Tas de bois et souches pour abriter les insectes xylophages et les amphibiens ;
- Rochers et murets de pierre sèche pour créer des zones de refuge pour les reptiles et certains invertébrés.

Ces éléments, intégrés de manière harmonieuse aux milieux naturels, contribuent à diversifier les habitats et à renforcer les fonctionnalités écologiques du projet de renaturation urbaine.

**Pour aller plus loin**

Fiches techniques sur la prise en compte de la biodiversité dans l'aménagement : Guide « Biodiversité et paysage urbain », LPO

Préconisations pour les ouvrages de gestion des eaux pluviales :

- Gestion des eaux pluviales et biodiversité, ARB Ile-de-France
- CC7-RO, UNEP

OASIS : Outil d'aide à la décision au dimensionnement des systèmes d'infiltration des pluies courantes, Cerema

- Guide utilisateur d'Oasis
- Gestion des eaux pluviales : OASIS, l'Outil d'Aide au dimensionnement des Systèmes d'Infiltration des pluies courantes

Préconisations pour « Jardiner avec la nature » : Parc Naturel de la Haute Vallée de Chevreuse, 2023

Connectivité et réseaux écologiques : Centre de ressources sur les trames vertes et bleues

Génie végétal et écologique :

- NC1-RO : Travaux de génie végétal, UNEP
- NC2-RO : Travaux de génie écologique, UNEP

Guide des habitats et refuges de substitution pour la faune en milieu urbain - UPGE, 2014

Identification des secteurs à désimperméabiliser :

- Guide méthodologique du projet DésiVille : « Où et comment désimperméabiliser les sols urbains ? », 2024.

Évaluer son projet de renaturation

ÉVALUER LES FONCTIONS DES SOLS

En bref

Qui ? #MOA, #MOE, #Pédologue, #Écologue, #Paysagiste et #Gestionnaire

Quelle phase de projet ? Études préalables, #Réception et #Suivi post-livraison

Objectif : Évaluer les fonctions des sols en choisissant les paramètres adaptés : à l'état zéro, en cours de projet (chantier), à la réception puis en suivi après livraison.

⚠ Point d'attention : Temporalité de l'évaluation

L'évaluation des fonctions des sols est un processus itératif qui doit être réalisé à plusieurs étapes lors d'un projet de renaturation :

- au stade du diagnostic initial (se référer à la partie *Réaliser les études préalables et le diagnostic initial*), afin de :
 - mieux spatialiser les usages et les objectifs du projet de renaturation
 - adapter l'itinéraire technique de renaturation
 - disposer d'une base de comparaison (état zéro) pour le suivi du projet
- en cours de chantier (se référer à la partie *Phase chantier*), afin de vérifier les impacts environnementaux du chantier sur les sols
- à la réception, afin d'évaluer les premières évolutions induites par le projet de renaturation
- en suivi après livraison, afin de suivre l'évolution des fonctions des sols sur le temps long

Les démarches d'évaluation des fonctions et des services des sols reposent généralement sur la mesure ou l'observation de paramètres (propriétés et/ou processus du sol)⁸⁷. Ces indicateurs, qualitatifs ou quantitatifs, permettent d'évaluer l'état des fonctions des sols à un instant donné et leurs variations dans le temps.

Les fonctions du sol peuvent être appréhendées à partir de mesures ou d'observations directes du sol⁸⁸. Lorsque l'on s'appuie sur plusieurs paramètres, les indicateurs retenus sont agrégés pour évaluer la fonction, c'est ce que l'on appelle l'agrégation⁸⁹.

⚠ Point d'attention

Le présent référentiel n'a pas vocation à proposer une méthodologie-type d'évaluation des fonctions des sols avec une liste d'indicateurs et des valeurs seuils associées. L'objectif est de donner des grandes orientations pour accompagner les porteur-ses de projet à mieux comprendre l'intérêt des diagnostics de sol. En outre, la priorisation des paramètres à mesurer peut aider les porteur-ses de projets à mieux cerner leur besoin, dimensionner leurs appels d'offres et faire appel aux bonnes expertises pour les diagnostics de sols.

Pour une évaluation précise et adaptée à votre projet, il convient de faire appel à un bureau d'études spécialisé.

87 Calvaruso C., Blanchart A., Bertin S., 2019. *Synthèse - Diagnostic de la qualité des sols agricoles et forestiers : indicateurs de suivi et stratégies de déploiement*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). 21 pages.

88 Baize D., Jabiol B., 2011. *Guide pour la description des sols*. Editions Quae, Collection Savoir-Faire, 429 p., 978-2-7592-1034-3.

89 Idowu O.J. et al., 2008. « Farmer-oriented assessment of soil quality using field, laboratory, and VNIR spectroscopy methods. » *Plant Soil* 307: 243-253.

FOCUS

VALEURS DE RÉFÉRENCE

À ce jour, il n'existe pas de consensus établi sur des valeurs seuils à atteindre, indicateur par indicateur, pour garantir un niveau de fonctionnalité des sols en contexte urbanisé. Les référentiels existants sont majoritairement centrés sur les sols agricoles, ce qui se justifie par la plus grande stabilité des usages et des objectifs de production. En milieu urbain ou renaturé, la définition de valeurs cibles s'avère plus complexe, car ces seuils dépendent de nombreux facteurs : contexte pédoclimatique, usage visé (loisir, support végétalisé, support d'habitat écologique, etc.), ou encore type d'écosystème de référence.

Dans ce cadre, il a été choisi de ne pas proposer de seuils génériques, mais plutôt d'encourager l'identification de **sols de référence** adaptés

au projet. Il est possible de relever certains paramètres sur un **site témoin, à proximité, jugé fonctionnel** (conformément aux objectifs de refunctionalisation visés) et d'en déduire des valeurs cibles. Celles-ci peuvent alors guider les étapes du projet : formulation d'un sol reconstitué, suivi de chantier, puis évaluation post-travaux. Cette logique peut s'appliquer par exemple à la reconstitution d'un habitat écologique régional (prairie mésophile, pelouse xérophile, etc.), à la création d'espaces d'agriculture urbaine en s'inspirant de potagers urbains à proximité, ou encore à la création d'ouvrage de gestion des eaux pluviales. Cette identification d'un milieu de référence s'applique tout autant au **choix de la végétation**.

IDENTIFIER LES FONCTIONS DES SOLS À PRIORISER POUR CHAQUE OBJECTIF DE RENATURATION

L'identification des paramètres pertinents d'évaluation des sols doit faire écho à la démarche de priorisation des objectifs de renaturation (se référer à la partie *Hiérarchiser ses objectifs de refunctionalisation*). Pour rappel, **les objectifs de renaturation établis dans le présent référentiel s'appuient sur les fonctions du sol** définies par l'Association Française pour l'étude des sols (Afes), et représentées dans la figure 53.

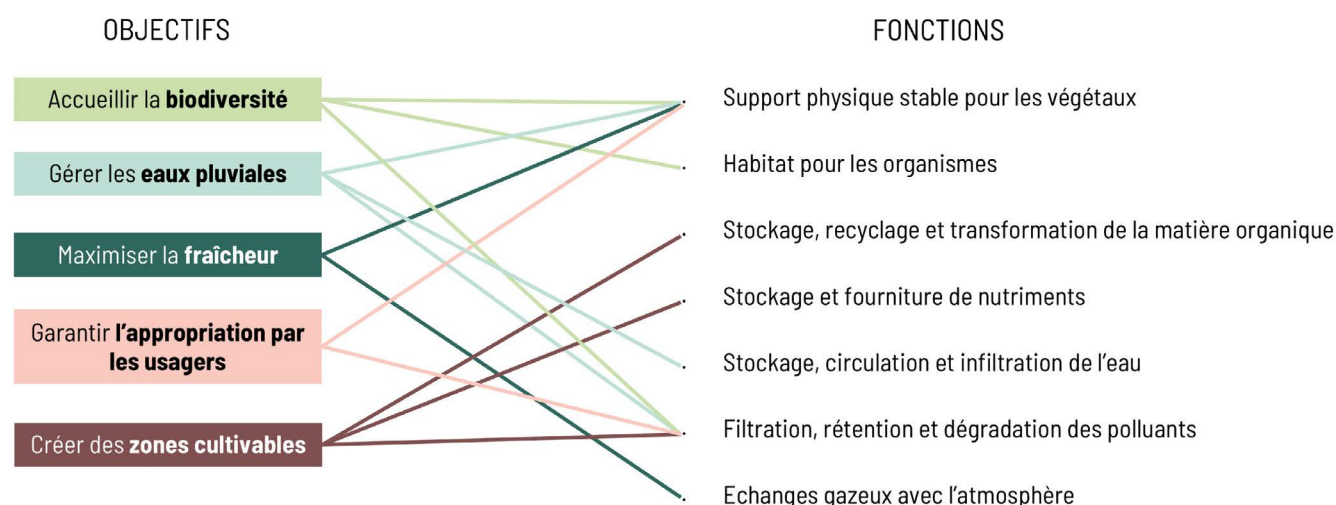


Figure 53 : Lien entre objectifs de refunctionalisation et fonctions des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière |

IDENTIFIER LES INDICATEURS LES PLUS PERTINENTS POUR ÉVALUER CHAQUE FONCTION

Pour **évaluer ces fonctions**, des paramètres physiques, chimiques et biologiques peuvent être mesurés ou observés dans un profil de sol par un-e expert-e pédologue. Le tableau 11 regroupe les indicateurs/paramètres mesurables par fonction du

sol. Pour faciliter cette lecture, la figure 54 répertorie les paramètres principaux à analyser en fonction des objectifs de renaturation prioritaires sur le projet (se référer à la partie *Hiérarchiser ses objectifs de refonctionnalisation*). Cette répartition permet de prioriser les mesures à effectuer sur les sols, à chaque étape, pour une meilleure maîtrise des coûts et une approche adaptée au projet de refonctionnalisation.

Accueillir la biodiversité	Gérer les eaux pluviales	Maximiser la fraîcheur	Garantir l' appropriation par les usagers	Créer des zones cultivables
<ul style="list-style-type: none"> Masse volumique apparente sèche Macroporosité Réserve utile en eau Profondeur / épaisseur Texture Pierrosité Stabilité structurale Traces / signes d'érosion Profondeur d'enracinement Description du couvert végétal Abondance et diversité des vers de terre, des nématodes (microfaune), de la mésofaune (enchytréides, microarthropodes) Activité, biomasse et diversité microbienne Mesure de l'activité biologique (litter bag) Teneur en polluants (HAP, PCB, organiques) Disponibilité des ETM 	<ul style="list-style-type: none"> Masse volumique apparente sèche Macroporosité Réserve utile en eau Profondeur / épaisseur Texture Pierrosité Stabilité structurale Traces / signes d'érosion Profondeur d'enracinement Traces d'hydromorphie Conductivité hydraulique Plantes hygrophiles Teneur en polluants (HAP, PCB, organiques) Disponibilité des ETM Activité, biomasse et diversité microbienne 	<ul style="list-style-type: none"> Masse volumique apparente sèche Macroporosité Réserve utile en eau Profondeur / épaisseur Texture Pierrosité Stabilité structurale Traces / signes d'érosion Profondeur d'enracinement Activité, diversité et biomasse microbienne Type de végétation Teneur en eau Stock de C et évolution % de carbone organique Teneur en CaCO₃ Rapport C/N pH 	<ul style="list-style-type: none"> Masse volumique apparente sèche Macroporosité Réserve utile en eau Profondeur / épaisseur Texture Pierrosité Stabilité structurale Traces / signes d'érosion Profondeur d'enracinement Teneur en polluants (HAP, PCB, organiques) Disponibilité des ETM Activité, biomasse et diversité microbienne 	<ul style="list-style-type: none"> % de carbone organique Rapport C/N Teneur en N total pH Teneur en N assimilable Teneur en P assimilable Teneur en K CEC Concentration en CaCO₃ Teneur en éléments assimilables (micronutriments) Teneur en polluants (HAP, PCB, organiques) Disponibilité des ETM Activité, diversité et biomasse microbienne

Figure 54: Exemples (non exhaustifs) d'indicateurs à mobiliser selon les objectifs de refonctionnalisation (les indicateurs correspondent aux différentes fonctions associées à chaque objectif - voir figure 53 et tableau 11) ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière

La restauration des fonctions des sols est un processus long. **Il est important de rappeler que tous ces paramètres sont potentiellement amenés à évoluer dans le temps, selon différentes temporalités.** Il est cependant possible de distinguer les indicateurs **plus stables** (propriétés inhérentes au sol) des indicateurs **dynamiques**, qui dépendent de facteurs environnementaux au moment du relevé ou qui peuvent évoluer en fonction des modes de gestion. Certains indicateurs sont mesurables dès la livraison, tandis que d'autres pourront être mesurés plus tard (évolution visible entre 2 ans et 10 ans selon les indicateurs). Pour adapter la fréquence des différentes mesures, il est conseillé de consulter un bureau d'études spécialisé en agropédologie.

Chaque indicateur peut être observé sur le **terrain** par un-e pédologue et/ou analysé en **laboratoire** à partir d'un échantillon.

Le tableau 11 précise également, pour les indicateurs également mentionnés dans l'étude de l'Inrae « Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs » (2025)⁹⁰, leur **niveau d'opérationnalité**, et l'existence d'une **méthode normalisée de mesure**.

Tableau 11 : Liste (non exhaustive) d'indicateurs d'évaluation des sols [physiques (bleu), chimiques (rose), biologiques (vert)] par fonction, et indications sur les méthodes de mesure

FONCTION DU SOL	INDICATEURS D'ÉVALUATION	ÉTAT DE L'INDICATEUR Pour les indicateurs dynamiques, il est conseillé de réitérer les analyses à plusieurs reprises dans les années suivant la livraison de l'opération	INDICATEUR OBSERVABLE SUR LE TERRAIN OU EN LABORATOIRE	PRÉSENCE D'UNE MÉTHODE NORMALISÉE DE MESURE Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025	NIVEAU D'OPÉRATIONNALITÉ Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025
Support physique stable pour le vivant	Masse volumique apparente sèche	Plus stable	Laboratoire	Oui	Mature
	Macro-porosité	Dynamique	Terrain	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
	Réserve utile en eau	Plus stable	Laboratoire	/	Mature
	Profondeur / épaisseur	Plus stable	Terrain	/	Mature
	Texture	Plus stable	Évaluée sur le terrain mais confirmée en laboratoire	Oui	Mature
	Pierrosité	Plus stable	Terrain	/	En maturation
	Stabilité structurale	Dynamique	Terrain	/	En maturation
	Traces / signes d'érosion	Dynamique	Terrain	/	/
	Profondeur d'enracinement	Dynamique	Terrain	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>



FONCTION DU SOL	INDICATEURS D'ÉVALUATION	ÉTAT DE L'INDICATEUR Pour les indicateurs dynamiques, il est conseillé de réitérer les analyses à plusieurs reprises dans les années suivant la livraison de l'opération	INDICATEUR OBSERVABLE SUR LE TERRAIN OU EN LABORATOIRE	PRÉSENCE D'UNE MÉTHODE NORMALISÉE DE MESURE Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025	NIVEAU D'OPÉRATIONALITÉ Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025
	Abondance, diversité et groupes fonctionnels des vers de terre	Dynamique	Terrain	Oui	Mature
	Abondance, diversité et groupes fonctionnels des nématodes (microfaune)	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature
	Activité, biomasse et diversité microbienne	Dynamique	Laboratoire	/ (Oui pour la biomasse)	En maturation ou mature
	Diversité et abondance mésofaune (enchytréides, microarthropodes, etc)	Dynamique	Laboratoire	/ (Oui pour abondance des microarthropodes)	En maturation ou en développement
	Description du couvert végétal (taux de recouvrement, inventaire, etc.)	Dynamique	Terrain	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
	Profondeur d'enracinement	Dynamique	Terrain	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
	Mesure fonctionnelle de l'activité biologique (méthode du litter bag)	Dynamique	Terrain	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
Stockage, recyclage et transformation de la matière organique	% Carbone organique	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature
	Teneur en N total	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature
	Rapport C/N	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature



FONCTION DU SOL	INDICATEURS D'ÉVALUATION	ÉTAT DE L'INDICATEUR Pour les indicateurs dynamiques, il est conseillé de réitérer les analyses à plusieurs reprises dans les années suivant la livraison de l'opération	INDICATEUR OBSERVABLE SUR LE TERRAIN OU EN LABORATOIRE	PRÉSENCE D'UNE MÉTHODE NORMALISÉE DE MESURE Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025	NIVEAU D'OPÉRATIONALITÉ Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025
Stockage, circulation et infiltration de l'eau	Traces d'hydromorphie	Dynamique	Terrain	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
	Conductivité hydraulique	Dynamique	Terrain ou laboratoire	/	En développement
	Texture	Plus stable	Évaluée sur le terrain mais confirmée en laboratoire	Oui	Mature
	Plantes hygrophiles	Dynamique	Terrain	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
Stockage et fourniture de nutriments	pH	Plus stable	Laboratoire	Oui	Mature
	Teneur en azote assimilable (N)	Dynamique	Laboratoire	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
	Teneur en phosphore assimilable (P Olsen)	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature
	Teneur en potassium (K)	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature
	CEC (Capacité d'Échange Cationique)	Plus stable	Laboratoire	/	Mature
	Teneur en CaCO ₃	Plus stable	Laboratoire	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>
	Teneurs en éléments assimilables (micronutriments)	Dynamique	Laboratoire	<i>non renseigné</i>	<i>non renseigné</i>



FONCTION DU SOL	INDICATEURS D'ÉVALUATION	ÉTAT DE L'INDICATEUR Pour les indicateurs dynamiques, il est conseillé de réitérer les analyses à plusieurs reprises dans les années suivant la livraison de l'opération	INDICATEUR OBSERVABLE SUR LE TERRAIN OU EN LABORATOIRE	PRÉSENCE D'UNE MÉTHODE NORMALISÉE DE MESURE Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025	NIVEAU D'OPÉRATIONNALITÉ Pour les indicateurs mentionnées dans l'étude de Cousin et al., 2025
Filtration, rétention et dégradation des polluants	Teneur en polluants (HAP, PCB, organiques)	Plus stable	Laboratoire	Oui	En maturation
	Disponibilité des ETM (Éléments Traces Métalliques)	Plus stable	Laboratoire	/	Mature
	Activité, diversité et biomasse microbienne	Dynamique	Laboratoire	/(Oui pour la biomasse)	En maturation ou mature
Échanges gazeux avec l'atmosphère	Stock de C et évolution	Dynamique	Laboratoire	/	Mature (pour l'évaluation du stock actuel sur 30cm)
	% Carbone organique	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature
	Activité, diversité et biomasse microbienne	Dynamique	Laboratoire	/ (Oui pour la biomasse)	En maturation ou mature
	Teneur en CaCO ₃	Plus stable	Laboratoire	non renseigné	non renseigné
	Rapport C/N	Dynamique	Laboratoire	Oui	Mature
	Type de végétation	Dynamique	Terrain	non renseigné	non renseigné
	Teneur en eau	Dynamique	Laboratoire	non renseigné	non renseigné
	Traces / signes d'érosion	Dynamique	Terrain	/	/
	pH	Plus stable	Laboratoire	Oui	Mature

©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière d'après Cousin et al., 2025, et Calvaruso et al., 201991



OUTIL NUMÉRIQUE

Approche complémentaire

L'outil numérique répertorie un panel d'indicateurs à étudier, regroupés par fonctions écologiques des sols. L'étude de ces indicateurs permet à la fois d'évaluer l'état initial du sol, et d'avoir un suivi sur le long terme de l'évolution de ces indicateurs, afin d'évaluer l'efficacité du projet de renaturation sur les différentes fonctions du sol.

La rubrique à consulter pour plus de détails : « Je définis ma stratégie de suivi en fonction des objectifs de mon projet : J'identifie les indicateurs d'évaluation les plus pertinents ».

<https://renaturer.transitionfonciere.fr/>

Après livraison du projet et des sols renaturés, il est essentiel d'assurer un suivi efficace et une transmission claire des bonnes pratiques aux acteurs impliqués. Pour cela, il existe plusieurs leviers :

- Intégrer des suivis simples, réalisables par l'entreprise dans les deux ans de garantie de reprise, afin d'évaluer l'efficacité des actions mises en place et d'anticiper d'éventuels ajustements ;
- Impliquer le plus tôt possible l'entreprise, le futur gestionnaire ou le service de la collectivité responsable des futurs espaces verts. Cette anticipation garantit une cohérence dans la gestion future et facilite l'appropriation des bonnes pratiques ;
- Fournir un carnet d'entretien et de suivis préconisés au futur gestionnaire, détaillant les actions à mettre en œuvre pour assurer la pérennité de la renaturation.



Bonne pratique

Le projet DESSERT⁹² a identifié des relevés de suivi simples à mesurer :

- Thermomètre portatif pour mesurer les températures ;
- Instrument de mesure de l'humidité et de la perméabilité d'un sol ;
- Suivi de l'évolution de la végétation (apparition/disparition des espèces plantées ou spontanées, couverture végétale et indicateurs de stress des végétaux).



Pour aller plus loin

Connaître, choisir et étudier les indicateurs de qualité des sols : « Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs », Cousin et al., 2025 :

- Rapport d'étude, 780 pages.
- Synthèse du rapport d'étude, 126 pages.

Aide à la décision pour la gestion et valorisation des sols dans un projet : Rapport DESTISOL : Les sols, une opportunité pour un aménagement urbain durable, ADEME, 2017

Faciliter le transfert des résultats de la recherche en outils opérationnels – Thématique de la multifonctionnalité des sols. Vincent Q., Blanchart A., 2023.

Les bio-indicateurs de l'état des sols, principes et exemples d'utilisation

- Applicabilité à l'étude des sites pollués du biomarqueur lipidique des végétaux et du bio-indicateur nématofaune, ADEME, 2017.

ASSURER LE MAINTIEN ET LA GESTION DES FONCTIONS DU SOL

Après livraison des sols refunctionalisés, il convient d'adapter les modes de gestion pour assurer un maintien et/ou une amélioration continue de leurs fonctions. L'application d'une gestion écologique est alors indispensable pour assurer une recolonisation spontanée efficace par les organismes du sol et la végétation surplombante.

• Gestion de la matière organique :

- Privilégier les apports de compost mûr, de broyat de végétaux ou de paille, en adaptant les quantités aux besoins du sol et des plantes.
- Éviter les sols à nu en favorisant le recouvrement par le végétal, tolérer la flore spontanée (tout en restant vigilant concernant la flore envahissante – se référer à la partie *Gestion des espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE)*). Si l'usage ne permet pas le maintien d'un couvert végétal, il est possible de pratiquer le paillage avec des matériaux organiques variés (feuilles mortes, paille, etc.) pour protéger le sol, maintenir l'humidité et favoriser la décomposition.
- Mettre en place des techniques de compostage sur site pour valoriser les déchets organiques. Le compost peut être utilisé dans les massifs d'ornement, en pied de haie ou encore dans les espaces d'agriculture urbaine. Néanmoins, les habitats de type prairie ne doivent pas faire l'objet d'amendement ou fertilisation (se référer à la partie *Travailler un couple sol-végétation écologiquement fonctionnel*).

• Préservation de la biodiversité du sol :

- Proscrire l'utilisation de pesticides et d'engrais de synthèse, qui perturbent les équilibres biologiques du sol.
- Favoriser la présence d'organismes du sol tels que les vers de terre, les insectes et les micro-organismes en maintenant une couverture végétale diversifiée et en adoptant une gestion douce des sols.

- Installer des refuges pour la faune auxiliaire (tas de bois mort, pierrier, feuilles mortes, tas de sable, etc.).
- Favoriser les continuités entre les sols du site et les sols fonctionnels attenants. Installer au besoin des lombriducs – petit ouvrage constitué de sol fonctionnel permettant aux vers de terre (et autres organismes du sol) de traverser un obstacle (route, cheminement stabilisé, clôture, etc.).
- Éviter les tontes et fauches excessives. Il est nécessaire d'adapter la pression de tonte/fauche selon le milieu et également la méthode (zone sanctuarisée, zone de passage, changer les zones de tonte selon les années etc.).



Figure 55 : Lombriduc installé à Lille sous un chemin stabilisé
© F. Lamiot, CC BY-SA

• Gestion de l'eau :

- Améliorer la capacité de rétention en eau du sol par des apports de matière organique et des techniques de travail du sol adaptées.
- Mettre en place des systèmes de récupération d'eau de pluie pour l'arrosage, voire d'eau grise si le projet le permet.
- Adapter les techniques d'arrosage aux besoins des plantes et aux conditions climatiques. Privilégier des pratiques d'arrosage au goutte à goutte, voire des systèmes innovants intégrés.

• Travail du sol :

- Limiter le travail du sol, en privilégiant les techniques de travail superficiel ou de non-travail du sol.
- Utiliser des outils de travail du sol adaptés pour ne pas perturber la structure du sol.
- Éviter le tassement du sol en limitant le passage d'engins lourds, en restreignant les circulations sur certaines zones précises (notamment sur les sites avec une forte affluence).

💡 Pour aller plus loin

Code de gestion durable des sols - Bruxelles Environnement, 2024.

Labelliser la gestion de son site :

- [Label Ecojardin](#) - Plante & Cité
- [BiodiverCity Life](#) - CIBI

Approfondir le sujet de la gestion écologique :

- [Guide de gestion écologique des espaces collectifs publics et privés](#) - ARB Ile-de-France, 2016

Bibliographie

Littérature scientifique et rapports techniques

ADEME, 2018. *Méthodologie de détermination des valeurs de fonds dans les sols : Échelle d'un site*. Groupe de travail sur les valeurs de fonds. 107 p. <https://upds.org/wp-content/uploads/2019/02/rapport-guide-fpg-etude-site-2018.pdf>

ADEME, ADERA-LEB Aquitaine Transfert, ELISOL, Mines Saint-Etienne, EODD Ingénieurs Conseils, 2017. *APPOLINE : Applicabilité à l'étude des sites pollués du biomarqueur lipidique des végétaux et du bio-indicateur nématofaune*, 187 pages. <https://www.eodd.fr/wp-content/uploads/2017/06/Bio-indicateurs.pdf>

Baize D. (coord.), Girard M.-C. (coord.), 2008. *Référentiel pédologique 2008*, Association française pour l'étude du sol. Editions Quae. ISBN: 978-2-7592-0186-0. https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2023/10/Referentiel_Pedologique_2008.pdf

Baize D., Jabiol B., 2011. *Guide pour la description des sols*. Editions Quae, Collection Savoir-Faire, 429 p., 978-2-7592-1034-3. <https://hal.science/hal-01195043v1>

Bechet B., Le Bissonnais Y., Ruas A., Aguiléra A., Andrieu H., Barbe E., Billet P., Cavailhès J., Cohen M., Cornu S., Dablanç L., Delolme C., Géniaux G., Hedde M., Mering C., Musy M., Polèse M., Weber C., Frémont A., Le Perchec S., Schmitt B., Savini I., Desrousseaux M., 2017. *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols: déterminants, impacts et leviers d'action*. Synthèse. INRA. 127 p. hal-02791450

Blanchart A., Calvaruso C., Eglin T., Pierart A. et Grand C., 2019. *Méthodologies d'évaluation des fonctions et des services écosystémiques rendus par les sols*, Synthèse séminaire du 12 juin 2019, INRA Orléans. 31 pages. <https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-territoires-et-sols/491-methodologies-d-evaluation-des-fonctions-et-des-services-ecosystemiques-rendus-par-les-sols.html>

Calvaruso C., Blanchart A., Bertin S., 2019. *Synthèse - Diagnostic de la qualité des sols agricoles et forestiers : indicateurs de suivi et stratégies de déploiement*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). 21 pages. https://www.researchgate.net/publication/339850607_Diagnostic_de_la_qualite_des_sols_agricoles_et_forestiers_Indicateurs_de_suivi_et_strategies_de_developpement

CDC Biodiversité et Office Français de la biodiversité, 2022. *Renaturer les sols, des solutions pour ménager les territoires*. Castaing J., Monod K., Noreve V., Dossier de la MEB n°42, Mission Economie de la biodiversité, Paris, France, 60p. https://oai-gem.ofb.fr/exl-php/document-affiche/cli_recherche_api/OUVRE_DOC/DOC00086612?vue=cli_recherche_api&action=OUVRE_DOC&cid=DOC00086612&fic=IMPORTS/DICOM2025/renaturer-les-sols.pdf

Cerema, 2024. *Guide des terrassements des remblais et des couches de forme : Fascicule n°1 - Principes généraux / Fascicule n°2 - Annexes techniques - Édition 2024*. Editions du Cerema, 115p. ISBN : 978-2-37180-678-8 <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/595090/guide-des-terrassements-des-remblais-et-des-couches-de-forme-fascicule-n-1-principes-generaux-fascic>

Cerema Centre-Est, 2025. *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre : Étude environnementale et sanitaire*. 46 pages. ISBN 978-2-37180-704-4. <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/603290/valorisation-de-materiaux-alternatifs-en-infrastructures-lineaires-de-transport-terrestre-etude-envi>

Cerema Hauts-de-France, 2021. *Terres Végétales et Espèces Exotiques Envahissantes - Rapport d'étude*. 53 pages. https://www.cerema.fr/fr/system/files?file=documents/2021/05/terres_vegetales_et_eee_vt01-28_signe_teer_0.pdf

Cerema, Office français de la biodiversité, 2024. *Les coefficients de surfaces non imperméabilisées et éco-aménageables : des outils de planification pour préserver les sols en milieu urbain*. Livrable n°3, 38 pages. <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/601669/les-coefficients-de-surfaces-non-impermeabilisees-et-eco-amenageables-des-outils-de-planification-po>

Chaire Transition foncière, 2024. *Restaurer les fonctions des sols ? Approches scientifiques et perspectives interdisciplinaires*, Cahier n°1 de la Chaire Transition Foncière, 108 pages. <https://www.calameo.com/read/00396868802bd91b63a96>

Cortet J., Beguiristain T., Charissou A.M., Chenot E.D., Corbel S., Cluzeauf D., Hafeezg F., Heddee M., Leyvalc C., Martin-Laurentg F., Masfaraudh J.F., Nahmanih J., Pironf D., Schwartz C., Séré G., Villenavei C., Watteau F., 2013. *Early colonisation of a constructed Technosol by soil organisms after industrial site reclamation*. 7. International Conference of the Working Group on Soils in Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas (SUITMA) of International Union of Soil Sciences, Torun, Poland. 151 p. hal-02748977

- Cortet J., Auclerc A., Beguiristain T., Watteau F., 2014. *Biodiversité et fonctionnement d'un Technosol construit utilisé dans la restauration de friches industrielles : principaux résultats issus du programme Biotechnosol*. 3èmes rencontres nationales de la Recherche sur les sites et sols pollués, journées techniques nationales, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). <https://hal.science/hal-01486439v1>
- Cortet J., Paquet S., Billet P., Bougon N., Calvet C., Charnet F., Chenu C., Gascuel-Odoux C., Damas O., Desrousseaux M., Monod K., Poinçot F., Raous S., Rigou L., Sarrazin F. et Schwartz C., 2023. « Mieux intégrer les sols dans la séquence « Éviter-Réduire-Compenser ». » *Étude et Gestion des Sols*, 30 (1) : 347- 363. <https://hal.univ-lorraine.fr/LSE-UL/hal-04327803v1>
- Cousin I. (coord.), Desrousseaux M. (coord.), Angers D., Augusto L., Ay J.-S., Baysse-Lainé A., Branchu P., Brauman A., Chemidlin Prévost-Bouré N., Compagnone C., Gros R., Hermon C., Keller C., Laroche B., Meulemans G., Montagne D., Pérès G., Saby N., Vaudour E., Villerd J., Violle C., Lelièvre V., de Mareschal S., Brichler M.-C., Froger C., Itey J., Leenhardt S. (coord.), 2025. *Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs. Rapport d'étude*, INRAE (France). 780 p. DOI : 10.17180/qnpx-x742 <https://hal.inrae.fr/hal-04828558>
- Cousin I. (coord.), Desrousseaux M. (coord.), Leenhardt S. (coord.), Angers D., Augusto L., Ay J.-S., Baysse-Lainé A., Branchu P., Brauman A., Brichler M.-C., Chemidlin Prévost-Bouré N., Compagnone C., Froger C., Gros R., Hermon C., Itey J., Keller C., Laroche B., Lelièvre V., de Mareschal S., Meulemans G., Montagne D., Pérès G., Saby N., Vaudour E., Villerd J., Violle C., 2024. *Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs. Synthèse du rapport scientifique de l'étude*, INRAE. 126 p. DOI 10.17180/k4j0-m162 <https://hal.inrae.fr/hal-04828558>
- Damas O., Branchu P., Douay F., Schwartz C., Grand C., Marot F., 2018. *Présomption de pollution d'un sol – Des clés pour comprendre et agir*. Plante & Cité, Angers, 36 p. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2019/03/mise_en_page_presomption_de_pollution_10_dec.pdf
- Damas O. (coord.), Coulon A. (coord.), 2016. *Créer des sols fertiles : du déchet à la végétalisation urbaine*, Editions du Moniteur, 335 p.
- Deboeuf De Los Rios G., Barra M., Grandin. G., 2022. *Renaturer les villes. Méthode, exemples et préconisations*. ARB îdF, L'Institut Paris Region. https://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorage/user_upload/ARB-idF_-_Renaturer_les_villes_-_WEB.pdf
- Delgado-Baquerizo M., Eldridge D.J., Liu Y.R., Liu Z.W., Coleine C., Trivedi P., 2025. « Soil biodiversity and function under global change. » *PLoS Biology* 23(3): e3003093. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3003093>
- Duchaufour P., 1983. *Pédologie Tome I - Pédogénèse et Classification*. Paris: Masson. ISBN 2-225-79673-4.
- Fabrizi D., Pizzol R., Calza P., Malandrino M., Gaggero E., Padoan E., Ajmone-Marsan F., 2021. « Constructed Technosols: A Strategy toward a Circular Economy. » *Applied sciences*. 11 : 3432. <https://doi.org/10.3390/app11083432>
- Fédération des SCoT, 2024. *Renaturer, principes et méthodologie*. 104 pages. <https://drive.google.com/file/d/1YcI9jdNR2xjO6rhW4ifK45hDJKgmHIPN/view>
- Fédération nationale des agences d'urbanisme, 2024. *Abécédaire de la renaturation*. Les dossiers FNAU, n°60. 28 pages. https://www.fnau.org/wp-content/uploads/2024/10/fnau-60-abecedaire-renaturation-web_v2.pdf
- Flandin J. et Parisot C., 2016. *Guide de gestion écologique des espaces publics et privés*. Natureparif, 188 pages. https://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorage/user_upload/guide_gestion_ecologique_natureparif_2016.pdf
- Gayet G., Baptist F., Maciejewski L., Poncet R. et Bensettiti F., 2018. *Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS*, Agence française de la biodiversité. https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/Gayet_2018_68357.pdf
- Goidin M., ADEME, Pommier C., ADEME, 2024. *Évaluer la mutabilité des friches - outil MUTAFRICHERS*. 16 pages. <https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-territoires-et-sols/7241-evaluer-la-mutabilite-des-friches-outil-mutafriches.html>
- Harvey G.L., Henshaw A.J., 2023. « Rewilding and the water cycle. » *Wires Water*. 10 (6) : 1686. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1686>
- Idowu O.J., Van Es H.M., Abawi G.S., Wolfe D.W., Ball J.I., Gugino B.K., Moebius B.N., Schindelbeck R.R., Bilgili A.V., 2008. « Farmer-oriented assessment of soil quality using field, laboratory, and VNIR spectroscopy methods. » *Plant Soil* 307: 243-253. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9521-0>
- INERIS, 2025. *Méthodologie pour encadrer l'usage de renaturation dans la gestion des sites et sols pollués : premier rapport d'étape*. 138 pages. <https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/Rapport-Ineris-213291-2772344-usage-renaturation%20v2.a.pdf>
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2018. *The IPBES assessment report on land degradation and restoration*. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages. <https://zenodo.org/records/3237393#.Yx7dijnaxWUk>
- IUSS Working Group WRB, 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports n° 106. FAO, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bcdecec7-f45f-4dc5-beb1-97022d29fab4/content>

Schwartz C. (coord.), Beaujouan V., Broggin F., Bulot A., Consalès J.-N., Corbel A., Cozzi M., Dagois R., Daniel H., David P., Gontier M., Goudon R., Herbreteau A., Lasseigne P., Lothodé M., Louvet J.-C., Moret A., Ouvrard S., Perridy L., Séré G., Teixeira Da Silva M., Vadepiéd F., Vieillard C., Vidal-Beaudet L., 2024. *Désimperméabiliser les villes. Guide opérationnel pour (re)découvrir les sols urbains*. Plante & Cité, 70 p. https://www.ressources.plante-et-cite.fr/GEIDFile/Guide_P_C_desimpermeabilisation_VF.pdf?Archive=192777991095&File=Guide%5Fopérationnel%5Fpour%5F%28re%29decouvrir%5Fles%5Fsols%5Furbains

Shankar M., Ng M., Rogers M., Cook E. M., Herrmann D. L., Schwarz K., 2024. « Unearthing the role of soils in urban climate resilience planning. » *Nature Sustainability* 7(11), 1374–1376. DOI 10.1038/s41893-024-01436-1 <https://www.nature.com/articles/s41893-024-01436-1>

Tan J.K.N., Belcher R.N., Tan H.T.W., Menz S., Schroepfer T., 2021. « The urban heat island mitigation potential of vegetation depends on local surface type and shade. » *Urban Forestry & Urban Greening*. 62 : 127128 DOI 10.1016/j.ufug.2021.127128 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866721001539?via%3Dihub>

Union Professionnelle du Génie Ecologique, 2024. *Guide des habitats et refuges de substitution pour la faune en milieu urbain*. Synthèse des travaux du groupe de travail « Biodiversité urbaine » de l'UPGE, volet 1. https://www.genie-ecologique.fr/wp-content/uploads/2024/11/UPGE_Guide_Habitats-substitution-faune-urbaine_vf-1.pdf

Vieillard C., 2024. *Désimperméabilisation des sols urbains : états des lieux des pratiques et mises en œuvre de génie pédologique pour restaurer des services écosystémiques*. Thèse de doctorat en sciences de la Terre et de l'Environnement. Institut Agro Rennes-Angers. Thèse N° : 2024-4_D-107. <https://theses.hal.science/tel-04769878v1>

Vincent Q., Mangin N., Rigolot R. et Blanchart A., 2022. « Étude de la biodiversité des sols (macrofaune épigée) urbains et périurbains dans le cadre de la création d'une trame brune. » *Étude et Gestion des Sols*. 29, 275-294. https://tramebiosol.fr/wp-content/uploads/2022/07/EGS_2022_29_Vincent_275-294.pdf

Vincent Q., Blanchart A., 2023. *Faciliter le transfert des résultats de la recherche en outils opérationnels – Thématique de la multifonctionnalité des sols*. ADEME. 97 pages. <https://librairie.ademe.fr/societe-et-politiques-publiques/6788-8457-le-bilan-de-la-recherche-sur-la-multifonctionnalite-des-sols.html>

Wegnez J., 2022. *Les plantes exotiques envahissantes d'Île-de-France. Actualisation de la liste hiérarchisée*, Conservatoire national du Bassin parisien - Muséum National d'Histoire Naturelle, délégation Île-de-France, 16 p. + annexes. https://data.geopf.fr/annexes/gpu/documents/DU_95309/8bf25809fe394adcb0d7ff2d595a5e58/95309_plante_exotique_envahissante_20251210.pdf

Textes juridiques

Eur Lex, Règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes. Document 32014R1143 (consultée le 11/12/2025) <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/1143/oj>

Eur Lex, Règlement (UE) 2024/1991 du Parlement européen et du Conseil du 24 juin 2024 relatif à la restauration de la nature et modifiant le règlement (UE) 2022/869 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). PE/74/2023/REV/1 (consultée le 08/12/2025) <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj/fra>

Légifrance, Article L101-2-1 - Code de l'urbanisme (consultée le 09/12/2025) https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043967077/

Légifrance, Article L122-3 - Code de l'environnement (consultée le 09/12/2025) https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043978066/

Légifrance, Article L411-5 - Code de l'environnement (consultée le 09/12/2025) https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000038846270/2019-07-27

Légifrance, LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (1) (consultée le 09/12/2025) <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000043956924/2024-05-18>

RS 814.12 : Ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol). https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/1854_1854_1854/fr#art_1

Sites internet et ressources web

ADEME, BENEFRICHES (consulté le 09/12/2025) <https://benefriches.ademe.fr/>

ADEME, BRGM, SelecDEPOL, *Liste et classification des techniques de dépollution* (consultée le 19/12/2025) : <https://selecdepoll.fr/techniques-de-depollution>

AFES, *Définition et enjeux* (2018) <https://www.afes.fr/les-sols/definition-et-enjeux/>

AFES, *La fresque du sol. 14Vf. Pédogénèse - formation du sol* (2023). <https://www.afes.fr/ressources/pedogenese-formation-du-sol/>

AFES, *La fresque du sol. 16Vf. Filtration, rétention et dégradation des polluants* (2023). <https://www.afes.fr/ressources/filtration-degradation-et-retention-de-polluants/>

AFES, *La fresque du sol. 17Vf. Stockage, recyclage et transformation de la matière organique* (2023). <https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2023/04/17Vf.-Stockage-recyclage-et-transformation-de-la-matiere-organique.docx.pdf>

- AFES, *La fresque du sol. 18Vf. Habitat pour les organismes* (2023). <https://www.afes.fr/ressources/habitat-pour-les-organismes/>
- AFES, *La fresque du sol. 19Vf. Échanges gazeux avec l'atmosphère* (2023). <https://www.afes.fr/ressources/echanges-gazeux-avec-latmosphere/>
- AFES, *La fresque du sol. 20Vf. Stockage et fourniture de nutriments* (2023). <https://www.afes.fr/ressources/stockage-et-fourniture-de-nutriments/>
- AFES, *La fresque du sol. 21Vf. Support physique stable pour le vivant* (2023). <https://www.afes.fr/ressources/support-physique-stable-pour-le-vivant/>
- AFES, *La fresque du sol. 22Vf. Stockage, circulation et infiltration de l'eau* (2023). <https://www.afes.fr/ressources/stockage-circulation-et-infiltration-de-leau/>
- AFES, *Services écosystémiques* (2023) <https://www.afes.fr/ressources/services-ecosystemiques/>
- Agence Parisienne du Climat, 2024. *Revêtements et changement climatique : choisir le bon matériau au bon endroit*. Plateforme Adaptaville, 21 pages. https://www.apc-paris.com/app/uploads/2024/10/GUIDE-REVETEMENT-ADATAVILLE_WEB_2025.pdf
- ARB Ile-de-France, *Préconisations pour les ouvrages de gestion des eaux pluviales : Gestion des eaux pluviales et biodiversité* (consulté le 19/12/2025). https://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/fichiers/Gestion_des_eaux_pluviales_et_biodiversite/ouvrages_eaux_pluviales_biodiversite_arbidf.pdf
- BDSolU, *Base de données des analyses de sol urbain* (2025) <https://www.bdsolu.fr/fr>
- BRGM, *Construire un sol fertile à partir de déchets* (consulté le 18/12/2025). <https://www.brgm.fr/fr/solutions/construire-sol-fertile-partir-dechets>
- BRGM, *GeoBaPa : un référentiel pour une meilleure gestion des terres issues du BTP* (2021). <https://www.brgm.fr/fr/reference-projet-acheve/geobapa-referentiel-meilleure-gestion-terres-issues-btp>
- BRGM, *Glossaire* (2025) <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/glossaire>
- BRGM, *Outil de traçabilité des terres TERRASS* (consulté le 19/12/2025) <https://terrass.brgm.fr/#/login?returnUrl=%2Faccueil>
- Cerema, *Cartographie des zones climatiques locales des aires urbaines*. (consultée le 19/12/2025) <https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/dashboards/08066acd23974111be1584a5761fd6b9>
- Cerema, *Gestion des eaux pluviales : OASIS, l'Outil d'Aide au dimensionnement des Systèmes d'Infiltration des pluies courantes* (consulté le 19/12/2025) <https://www.cerema.fr/fr/actualites/gestion-eaux-pluviales-oasis-outil-aide-au-dimensionnement>
- Cerema, *UrbanSimul, outil collaboratif d'analyse et de prospective sur le foncier* (consulté le 09/12/2025) <https://urbansimul.cerema.fr/>
- Cibi, *Label Biodiversity* (consulté le 18/12/2025). <https://cibi-biodiversity.com/biodiversity/>
- Communauté de communes des Coëvrons, *FOCUS : Mise en place d'une méthode de scoring des gisements fonciers*, 2024. https://experimentationsurbaines.ademe.fr/territoires-zero-artificialisation-nette/wp-content/uploads/sites/6/2024/10/Presentation-CC-des-Coevrons-2024_09_26.pdf
- Cycle up, plateforme de réemploi. <https://www.cycle-up.fr/home>
- Floriscope, plateforme développée par Plante & Cité pour permettre aux professionnel·les de connaître, choisir et trouver leurs végétaux (consultée le 19/12/2025). <https://www.floriscope.io/>
- Geo, *En quoi consiste le métier de pédologue ?* (2023). <https://www.geo.fr/environnement/en-quoi-consiste-le-metier-de-pedologue-215109>
- Geoportail, *Carte des réseaux hydrographiques*. (consultée le 19/12/2025) <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>
- InfoTerre - Sites et sols pollués, *Méthodes et outils de gestion* (consultée le 19/12/2025) : <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/methodes-outils-de-gestion>
- INRAE, Institut Agro Rennes-Angers, *Carte des milieux potentiellement humides de France*. (consultée le 19/12/2025) <https://geosass.fr/portails/?portail=mph&mode=url&url=https://geosass.fr/portails/mph/accueil.html>
- Institut de la Transition foncière (2025). Note de cadrage du projet *Circuit-court des sols : optimiser la gestion des terres excavées pour des sols vivants*. 33 pages. <https://www.transitionfonciere.fr/les-outils/circuit-court-des-sols>
- Institut Paris Région, *Cartographies interactives - Cartoviz* (consultée le 09/12/2025) <https://www.institutparisregion.fr/cartographies-interactives-cartoviz/>
- Institut Paris Région, *Carte interactive des îlots de chaleur urbains*. (consultée le 19/12/2025) <https://www.institutparisregion.fr/environnement/changement-climatique/chaleur-sur-la-ville/>
- Inventaire national du patrimoine naturel, Bases de données des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF)*.
- IRD et CIRAD, *Biofunctool® a new framework to assess the impact of land management on soil quality*, (consultée le 09/12/2025) <https://www.biofunctool.com/>
- Lavisse V. (ARP Astrance), Meyrueis M. (ARP Astrance), Moal H. (Loma Management), Tarabon S. (Ubiquiste), 2023. *Indice de connectivité écologique : le potentiel d'interactions à la loupe*. ARP Astrance, article de blog. <https://www.arp-astrance.com/news/indice-de-connectivite-ecologique-le-potentiel-dinteractions-a-la-loupe/>

Lorec A., Mathé F., Bourguignon J. et Vavasseur A., 2016. *Infographie - la phytoremédiation*. Les défis du CEA, juin 2016, n°208. <https://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/posters/defis-du-CEA-infographie-phytoremediation.pdf>

LPO, *Fiches techniques sur la prise en compte de la biodiversité dans l'aménagement : Guide « Biodiversité et paysage urbain »*. (consultée le 18/12/2025) <https://www.lpo.fr/la-lpo-en-actions/mobilisation-citoyenne/nature-en-ville/ressources-pedagogiques-nature-en-ville/biodiversite-et-paysage-urbain>

Ministère de la Transition Écologique et BRGM, *Plateforme Géorisques*. (consultée le 19/12/2025) <https://www.georisques.gouv.fr/>

Observatoire National DT DICT, 2024. *Fiche n° AT-TED Excavatrice par aspiration utilisée en technique douce*. Guide d'application de la réglementation relative aux travaux à proximité des réseaux, Fascicule 2 version 3. <https://www.dictservices.fr/wp-content/uploads/2024/07/Fiche-AT-TED.pdf>

OFB, *Centre de ressources sur les trames vertes et bleues* (consulté le 19/12/2025). <https://www.trameverteetbleue.fr/>

OFB, UICN, *Centre de ressources des espèces exotiques envahissantes*. (consulté le 19/12/2025) <https://especes-exotiques-envahissantes.fr/>

Office français pour la Biodiversité, *Liste des espèces exotiques envahissantes réglementées*. (consulté le 19/12/2025) <https://ofb.gouv.fr/les-especes-exotiques-envahissantes>

Parc Naturel de la Haute Vallée de Chevreuse, 2023. *Jardiner avec la nature* (consulté le 19/12/2025) <https://www.parc-naturel-chevreuse.fr/particuliers/jardins-au-naturel/jardiner-avec-la-nature>

PatriNat, centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel, *Cartographie nationale des milieux humides*. (consultée le 19/12/2025) <https://www.patrinat.fr/fr/cartographie-nationale-des-milieux-humides-7187>

Plante & Cité, *Projet SITERRE II : Vers une filière éco-efficace de valorisation de déchets et sous-produits industriels ou urbains pour développer des sols fertiles* (2022-2026). https://www.plante-et-cite.fr/projet/fiche/79/siterre_ii_vers_une_filiere_eco_e

Plante & Cité, label EcoJardin. (consulté le 18/12/2025). <https://www.label-ecojardin.fr/>

QUBS, *Programme de science participative pour le suivi de la qualité biologique des sols* (consultée le 09/12/2025) <https://www.qubs.fr/>

République et canton de Genève, 2019. *Protection des sols sur les chantiers : contenu minimal d'un concept de gestion des sols*. <https://www.ge.ch/document/16600/telecharger>

Schwartz C., 2024. *Sols urbains & nature en ville : clés de voûte des villes résilientes*. Présentation du projet DESSERT au Lab Recherche environnement, 27 juin 2024. <https://www.lab-recherche-environnement.org/wp-content/uploads/sols-urbains-et-nature-en-ville-christophe-schwartz-inrae-ul-20240627.pdf>

Terre utile, fournisseur de terre végétale issue du réemploi. <https://www.terre-utile.fr/>

Terres fertiles, fournisseur de terre végétale issue du réemploi. <https://www.terres-fertiles.com/>

Transition Résilience Grand Lyon. *De nouveaux outils à destination des professionnels du bâtiment pour réduire les nuisances et pollutions - Vers un territoire résilient* (10/09/2020) (consultée le 11/12/2025) <https://developpementdurable.grandlyon.com/2020/09/10/de-nouveaux-outils-a-destination-des-professionnels-du-batiment-pour-reduire-les-nuisances-et-pollutions/>

Union Nationale des entreprises du paysage. *Bonnes pratiques du secteur : les règles professionnelles*. (consulté le 11/12/2025). Voir notamment les fiches P.C.1-R0, P.C.4-N0, N.C.1-R0, N.C.2-R0, N.C.4-R0, P.E.6-R0, C.C.7-R0. <https://www.lesentreprisesdupaysage.fr/bonnes-pratiques-du-secteur-les-regles-professionnelles/les-regles-parues/>

Union Nationale des entreprises du paysage, Noé, Arthropologia, OFB, 2025. *Guide biodiversité à destination des entreprises du Paysage et des Gestionnaires d'espaces verts privés*. <https://www.lesentreprisesdupaysage.fr/base-documentaire/guide-biodiversite-a-lusage-des-entreprises-du-paysage/>

Union Professionnelle du Génie Écologique, *Les métiers de la filière du génie écologique* (2024) <https://www.genie-ecologique.fr/filiere-du-genie-ecologique/metiers/>

Union Professionnelle du Génie Ecologique, 2021. *Note de cadrage de définition de la Trame brune*, groupe de travail « Sols et génie écologique » de l'UPGE. <https://www.genie-ecologique.fr/wp-content/uploads/2022/03/Note-de-cadrage-Definition-de-la-trame-brune-v5.pdf>

Ville de Montpellier, Direction Paysage et Biodiversité, 2017. *Fiche travaux 5 - Protection des racines : exécutions des terrassements et remblaiements*. La Charte de l'arbre urbain, volume 2. <https://www.calameo.com/read/007763925b81e3022bc14>

Vincent Q. (EODD ingénieurs conseils), 2023. *Présentation « Trame brune : pourquoi ? comment ? quelles limites ? »*, journée technique de l'OFB « Quand la Trame verte et bleue prend de nouvelles couleurs : une opportunité pour une approche élargie des réseaux écologiques ? » <https://vimeo.com/819496588?fl=pl&fe=sh>

Annexes

Annexe 1 : Liste des figures

Figure 1 : Jean Guiony, Urbaniste, Président de l'Institut de la Transition foncière © Jean-Yves Le Tétour, 2025 - [page 8](#)

Figure 2 : Etapes de développement des outils de l'Institut de la Transition Foncière - [page 9](#)

Figure 3 : Différents profils de sols urbains, plus ou moins anthropisés. ©Cerema, OFB, Flore Vigneron, 2024 - [page 15](#)

Figure 4 : Structure du référentiel en fonction de la chronologie du projet de renaturation © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 19](#)

Figure 5 : Les métiers clefs de la renaturation sollicités à chaque étape de projet © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 21](#)

Figure 6 : Zones prioritaires à renaturer en Île-de-France, au regard de l'enjeu « changement climatique ». Extrait de l'outil Cartoviz © Institut Paris Région, Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France, Projet européen REGREEN - [page 24](#)

Figure 7 : Mise en oeuvre du diagnostic agro-pédologique © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière d'après DESTISOL (ADEME) - [page 29](#)

Figure 8 : Principe de co-conception d'un projet de renaturation ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 32](#)

Figure 9 : Actions à mener sur les sols selon l'état de dégradation initial de leurs fonctions ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 33](#)

Figure 10 : Schéma du principe d'implantation des zones renaturées pour favoriser la trame brune à l'échelle de son projet ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 35](#)

Figure 11 : Exemple de différenciation des espaces sur la base d'un « gradient de naturalité », applicable en conception et en gestion ©ARP Astrance - [page 36](#)

Figure 12 : Services écosystémiques et fonctions du sol © FédéSCOT, à partir de La fresque du sol, Afes / ADEME, schéma adapté par l'Institut de la Transition foncière - [page 38](#)

Figure 13 : Stratégie de hiérarchisation et de spatialisation des objectifs de refunctionalisation des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 39](#)

Figure 14 : Diversité des itinéraires techniques employés dans les projets de renaturation © D'après Salin et al., 2025 ; adapté par l'Institut de la Transition foncière, Maëlle Giroud - [page 44](#)

Figure 15 : Identification des principaux facteurs d'impact sur les coûts de la renaturation © visualisation adaptée par l'Institut de la Transition foncière, d'après Salin et al., 2025 - [page 47](#)

Figure 16 : Temporalité d'une opération de refunctionalisation des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 48](#)

Figure 17 : Evolution du site entre 2013 et 2025 © La Poste Immobilier, Essor Transitions - [page 52](#)

Figure 18 : Temporalité du projet © La Poste Immobilier, Essor Transitions - [page 52](#)

Figure 19 : Cartographie des typologies de sols © EODD ingénieurs conseils - [page 53](#)

Figure 20 : Cartographie des typologies de sols © EODD ingénieurs conseils - [page 53](#)

Figure 21 : Priorisation des objectifs de renaturation et fonctions écologiques associées © Essor Transitions, La Poste Immobilier, adapté par Institut de la Transition foncière - [page 54](#)

Figure 22 : Exemple de sol non scellé sur le site étudié © EODD ingénieurs conseils - [page 55](#)

Figure 23 : Temporalité du projet © Icade, Institut de la Transition foncière - [page 55](#)

Figure 24 : Schéma de synthèse de l'unité typologique du sol sous enrobé © EODD ingénieurs conseils - [page 56](#)

Figure 25 : Potentiel agropédologique global (à gauche) et pour chaque sondage (à droite) © EODD ingénieurs conseils - [page 57](#)

Figure 26 : Différentes étapes de la réalisation d'un projet de refunctionalisation © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 59](#)

Figure 27 : Schémas de principes de protection des arbres. ©ARP Astrance - [page 63](#)

Figure 28 : Profil de sol scellé ©G. Séré, LSE, adapté du guide DESSERT - [page 66](#)

Figure 29 : Pelle mécanique hydraulique (excavatrice) © Matthew T Rader, CC-BY-SA - [page 69](#)

- Figure 30 : Extraction en couches au motor-scrapers © Tomás Del Coro, CC BY-SA - [page 71](#)
- Figure 31 : Extraction frontale à la pelle © image libre de droit - [page 71](#)
- Figure 32 : Différentes méthodes de tri selon les ambitions de revalorisation ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 73](#)
- Figure 33 : Gestion des terres contaminées aux espèces végétales exotiques envahissantes dans la zone chantier ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière, d'après le Guide d'identification et de gestion des Espèces Végétales Exotiques Envahissantes sur les chantiers de Travaux Publics © MNHN, GRDF, FNTP, ENGIE 66 - [page 75](#)
- Figure 34 : Gestion des terres excavées selon leur contamination aux espèces exotiques envahissantes ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 75](#)
- Figure 35 : *Noccaea caerulea*, hyperaccumulatrice de cadmium, nickel et zinc © WeeJeeVee, CC BY-SA - [page 78](#)
- Figure 36 : Schéma de la méthode de valorisation des terres excavées ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 80](#)
- Figure 37 : Pratiques de stockage des terres © Tableau adapté par l'Institut de la Transition foncière, d'après l'UNEP, 2012, règles professionnelles n°: P.C.1-R0 - [page 81](#)
- Figure 38 : Méthode de remise en état des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière, d'après le projet SITERRE - [page 83](#)
- Figure 40 : Exemples simplifiés d'amélioration de sol ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 86](#)
- Figure 39 : Les organismes du sol et leurs rôles © ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 86](#)
- Figure 41 : Modèles de profils de sols © d'après les projets SITERRE et LOVER, Geoffroy Séré, et adaptés par ARP Astrance - [page 87](#)
- Figure 42 : Schéma de méthode de construction de sols, d'après les projets SITERRE et LOVER, Geoffroy Séré, et adapté par ARP Astrance - [page 88](#)
- Figure 43 : Exemples de calculs de valeurs de fonds © Tableau adapté par l'Institut de la Transition foncière, d'après eOde / Métropole de Lyon - [page 90](#)
- Figure 44 : Les différentes strates végétales ©ARP Astrance - [page 93](#)
- Figure 45 : Diversité d'habitats spécifiques à la faune ©ARP Astrance - [page 95](#)
- Figure 46 : Forêt urbaine de la Place de la Catalogne, Paris © Chabe01, CC BY-SA - [page 95](#)
- Figure 47 : Prairie fleurie, Allemagne © CC BY-SA - [page 96](#)
- Figure 48 : Haie diversifiée ©Ideopaysage - [page 97](#)
- Figure 49 : Parc des docks de Saint-Ouen © Lektz, CC BY-SA - [page 98](#)
- Figure 50 : Guide éco-jardin © PNR de la Haute Vallée de Chevreuse - [page 100](#)
- Figure 51 : Zone humide de Fitjar, Norvège © Magne Roed, Pexels, libre de droit - [page 100](#)
- Figure 52 : Restauration écologique d'un cours d'eau dans le district de Sacramento, Etats-Unis © U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento District, Public domain - [page 100](#)
- Figure 53 : Lien entre objectifs de refonctionnalisation et fonctions des sols ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 104](#)
- Figure 54 : Exemples (non exhaustifs) d'indicateurs à mobiliser selon les objectifs de refonctionnalisation (les indicateurs correspondent aux différentes fonctions associées à chaque objectif - voir figure 53 et tableau 11) ©ARP Astrance / Institut de la Transition foncière - [page 105](#)
- Figure 55 : Lombriduc installé à Lille sous un chemin stabilisé © F. Lamiot, CC BY-SA - [page 111](#)
- Figure 56 : Potentiel agropédologique et unités typologiques de sols sur le site d'étude © EODD ingénieurs conseils - [page 125](#)
- Figure 57 : Exemple de fiche synthèse par point de sondage © EODD ingénieurs conseils - [page 125](#)
- Figure 58 : Cartographie des habitats écologiques sur le site © Biotope - [page 126](#)
- Figure 60 : Zonage réglementaire © Grand Lyon / Essor Transitions - [page 126](#)
- Figure 59 : Cartographie des enjeux écologiques sur le site © Biotope - [page 126](#)
- Figure 61 : Inscription dans la trame paysagère territoriale © Grand Lyon / Essor Transitions - [page 126](#)
- Figure 62 : Surface envisagée pour l'exploitation agrivoltaïque © La Poste Immobilier / Essor Transitions - [page 127](#)

Figure 63 : Espèces à favoriser en priorité © La Poste Immobilier / Biotope - [page 127](#)

Figure 64 : Espèces végétales exotiques envahissantes © La Poste Immobilier / Biotope - [page 127](#)

Figure 65 : Potentiel agropédologique global (à gauche) et pour chaque sondage (à droite) © EODD ingénieurs conseils - [page 129](#)

Figure 66 : Stocks de carbone des sols du site d'étude © EODD ingénieurs conseils - [page 129](#)

Figure 67 : Potentiel d'infiltration par sondage (à gauche) et perméabilité des sols (à droite) © EODD ingénieurs conseils - [page 129](#)

Figure 68 : Niveaux biologiques de la macrofaune épigée du site d'étude © EODD ingénieurs conseils - [page 129](#)

Annexe 2 : Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau des critères pour le choix du site à renaturer - [page 22](#)

Tableau 2 : Les études préalables à réaliser dans le cadre d'un projet de renaturation (optimum) - [page 26](#)

Tableau 3 : Hiérarchiser ses objectifs de refonctionnalisation - [page 40](#)

Tableau 4 : Réglementation impactante pour les ouvrages de gestion des eaux pluviales ou d'incendie - [page 43](#)

Tableau 5 : Techniques de descellement - [page 67](#)

Tableau 6 : Comparatif des techniques de descellement - [page 68](#)

Tableau 7 : Techniques d'excavation - [page 70](#)

Tableau 8 : Comparatif des techniques d'excavation - [page 71](#)

Tableau 9 : Typologies des milieux ouverts selon les caractéristiques du sol - [page 97](#)

Tableau 10 : Typologies de zones humides en fonction de caractéristiques pédologiques généralement observées - [page 99](#)

Tableau 11 : Liste (non exhaustive) d'indicateurs d'évaluation des sols [physiques (bleu), chimiques (rose), biologiques (vert)] par fonction, et indications sur les méthodes de mesure - [page 106](#)

Annexe 3 : Les 7 fonctions du sol et leurs définitions

Stockage, recyclage et transformation de la matière organique

La matière organique est l'ensemble de la matière issue d'organismes vivants (plantes, bactéries, champignons, etc.). La MO est dite « fraîche » lorsqu'elle est nouvellement apportée et peu dégradée, c'est ce qui compose la litière du sol. La dégradation de la MO qui s'opère par les organismes du sol et des processus physico-chimiques permettent le recyclage de cette matière. À la fin de ces étapes, les particules organiques sont transformées en ions inorganiques (par des processus de minéralisation) ou en sucres solubles (par des processus d'immobilisation). Ces nutriments stockés dans le sol sont assimilables par les organismes du sol. La MO peut également être « stabilisée » lorsqu'elle n'a pas totalement été dégradée ou minéralisée. En effet, la matière organique peut former des associations organo-minérales en s'associant avec des argiles. Ces complexes difficilement assimilables sont stockés en profondeur dans le sol pendant plusieurs siècles⁹⁵.

Habitat pour les organismes

Les conditions climato-physico-chimiques des sols ainsi que leur structure varient dans le temps et l'espace, offrant ainsi des niches écologiques très différentes, ce qui en fait un hotspot de biodiversité. En effet, les sols abritent la plus grande biodiversité terrestre, en termes de biomasse mais également en nombre d'espèces⁹⁶.

Échanges gazeux avec l'atmosphère

Les sols et l'atmosphère échangent continuellement des gaz. Le sol peut être un puits (absorption) ou une source (émission). Les sols stockent du carbone atmosphérique (CO₂) sous forme de matière organique grâce à la photosynthèse des végétaux. Ils captent de l'azote (N₂) par l'activité microbienne (symbioses). Cependant, les organismes du sol émettent des gaz à effet de serre (GES) tels que le CO₂, le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). Les modes de gestion des sols influencent ces processus et donc les quantités de GES libérés dans l'atmosphère, normalement en équilibre⁹⁷.

Stockage et fourniture de nutriments

Le sol, grâce à ces complexes argilo-humiques (association d'argile et de matière organique) chargés négativement, a la capacité de retenir les éléments minéraux cationiques (chargés positivement) utiles aux plantes. Lorsque le sol en est pourvu, ces complexes peuvent s'associer à du calcium ou du magnésium pour retenir des anions (chargés négativement)⁹⁸.

Support physique stable pour le vivant

Grâce à ses propriétés (texture, structure, épaisseur, etc.) le sol offre un support physique stable permettant l'implantation et le développement de végétaux (ancrage et croissance des racines), de la faune et des micro-organismes (galeries souterraines, constructions en surfaces, etc.)⁹⁹.

Stockage, circulation et infiltration de l'eau

Les sols sont à l'interface entre l'atmosphère et la lithosphère, ils sont le siège de la circulation des eaux. L'eau peut ainsi entrer dans les sols par infiltration ou écoulement mais également en sortir par évaporation, ruissellement ou remontée capillaire. Selon la texture et la structure des sols, les conditions climatiques, la topographie, les caractéristiques géologiques, l'état des surfaces et la végétation qui les couvre, ces différents mouvements seront plus ou moins développés¹⁰⁰.

Filtration, rétention et dégradation des polluants

Selon leur nature et les propriétés des sols (structure, texture, teneur en MO, etc.) les contaminants peuvent s'y infiltrer, y être retenus ou être dégradés. Certains polluants peuvent rester dans les sols pendant plusieurs décennies, voire plusieurs siècles. Lorsque les quantités de polluants sont minces, les fonctions de filtre, tampon et dégradation des pollutions sont essentielles pour assurer une bonne qualité des eaux et une production alimentaire saine. Cependant les hautes teneurs en nanoparticules d'origine anthropique présentes dans les sols rendent parfois insuffisante leur capacité de dépollution¹⁰¹.

95 AFES. La fresque du sol. 17Vf. [Stockage, recyclage et transformation de la matière organique](#) (2023).

96 AFES. La fresque du sol. 18Vf. [Habitat pour les organismes](#) (2023).

97 AFES. La fresque du sol. 19Vf. [Échanges gazeux avec l'atmosphère](#) (2023).

98 AFES. La fresque du sol. 20Vf. [Stockage et fourniture de nutriments](#) (2023).

99 AFES. La fresque du sol. 21Vf. [Support physique stable pour le vivant](#) (2023).

100 AFES. La fresque du sol. 22Vf. [Stockage, circulation et infiltration de l'eau](#) (2023).

101 AFES. La fresque du sol. 16Vf. [Filtration, rétention et dégradation des polluants](#) (2023).

Annexe 4 : Exemple de matériaux issus des chantiers pouvant être revalorisés¹⁰²

TYPE DE MATÉRIAUX ANTHROPIQUES	DESCRIPTION
Fraisat d'enrobé	Matériau issu du rabotage des couches de revêtement bitumineux des routes, contenant des granulats et du bitume
Béton concassé	Matériau obtenu par le concassage de structures en béton démolies
Produit de déconstruction concassé (hors béton)	Matériaux divers issus de la démolition de bâtiments, à l'exclusion du béton
Matériaux traités et non traités	Matériaux issus de divers processus industriels, pouvant être traités (stabilisés) ou non
Ballast recyclé	Granulats issus du recyclage de ballast ferroviaire
Mâchefers d'incinération de déchets non dangereux - MIDND	Résidus solides issus de l'incinération des déchets non dangereux
Cendres volants (CVCT) silico-alumineuses de charbon	Résidus fins issus de la combustion du charbon dans les centrales thermiques
Laitiers	Sous-produits de la fusion des minerais métalliques dans les hauts fourneaux
Sous-produits de fonderie (sable de fonderie, laitier de fonderie en four cupola)	Résidus de la fabrication de pièces métalliques en fonderie
Schistes houillés calcinés	Résidus de l'exploitation minière du charbon, chauffés à haute température
Briques	Matériaux de construction en terre cuite, souvent issus de la démolition de bâtiments.

102 Cerema, 2024. *Guide des terrassements des remblais et des couches de forme*. Editions du Cerema, page 47.

Annexe 5 : Éléments complémentaires sur le test du Référentiel Renaturation en région lyonnaise

COÛT DE L'ANALYSE AGRO-PÉDOLOGIQUE

Ordre de grandeur du coût d'une analyse agro-pédologique pour 3 points de sondage : entre 10000€ et 12000€ TTC

LISTE DES PARAMÈTRES ANALYSÉS DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE AGRO-PÉDOLOGIQUE

L'étude agro-pédologique est constituée de trois types d'analyse © EODD ingénieurs conseils, 2025 :

- Une analyse pédologique réalisée sur le terrain : cinq sondages pédologiques ont été réalisés à la pelle mécanique et décrits sur site. Les paramètres observés sont les suivants :
 - description de l'environnement (topographe, aménagements, état de surface, couvert végétal, litière)
 - nature, épaisseur et limites inférieures des différents horizons
 - origine naturelle ou anthropique des horizons
 - présence éventuelle d'une nappe d'eau permanente ou temporaire
 - texture dominante
 - structure
 - couleur (code Munsell)
 - caractère calcaire
 - proportions et caractéristiques des éléments grossiers
 - proportions et natures des éléments anthropiques
 - état de compacité
 - humidité : degré
 - hydromorphie : degré et caractéristiques
- Une analyse agronomique effectuée en laboratoire sur 15 échantillons (en moyenne 3 horizons par sondage). Les paramètres physiques et chimiques étudiés sont les suivants :
 - pH (eau) (NF ISO 10390 ou équivalent)
 - granulométrie (selon la norme NF X 31-107 ou équivalent)
 - teneurs en matières organiques et carbone organique (NF ISO 10694 ou 14235)
 - teneurs en azote total (NF ISO 13878 ou 11261 ou équivalent)
 - rapport C/N
 - teneurs en phosphore assimilable, méthode Olsen (NF X 31160 ou équivalent)
 - teneurs en cations échangeables du complexe absorbant (K₂O, CaO, MgO et NaO) (NF X31-108 ou équivalent)

- capacité d'échange cationique (CEC), méthode Metson (NF X 31-130 ou NF ISO 11260 ou équivalent)
- calcaire total/carbonates (NF ISO 10693)
- taux de saturation
- Des analyses biologiques :
 - l'abondance et la diversité spécifiques des lombriciens (inventaire réalisé selon la norme ISO 23611-1 :2018)
 - l'abondance, la diversité spécifique et la diversité fonctionnelle de la macrofaune épigée (inventaire réalisé selon la méthode TSBF-faune active (RMQS-Biodiv))
 - l'abondance, la diversité spécifique et la diversité fonctionnelle de la mésofaune (collemboles) - inventaire réalisé grâce à la méthode d'extraction au Berlese - Tullgren (Coleman, 2004) ou Mac Fadyen (ISO 23611-2 :2006).

Les résultats bruts ont ensuite été interprétés à l'aide d'outils internes développés par le bureau d'étude, puis fait l'objet de cartographies spécifiques :

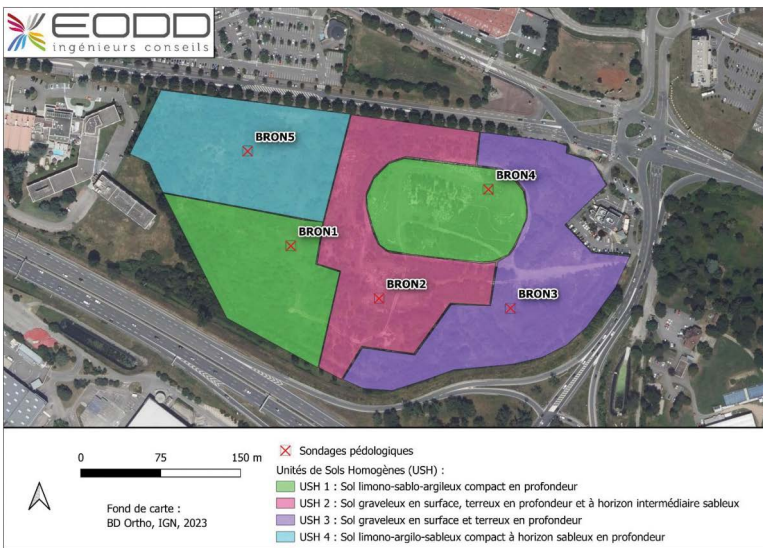
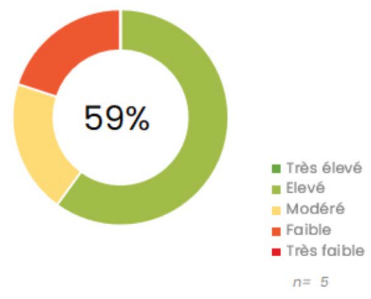
- Agri'Sol : calcul du potentiel fertile des sols
- Carbo'Sol : calcul du potentiel de stockage de carbone
- Aqua'Sol : calcul du potentiel d'infiltration et de rétention de l'eau
- Biodiv'Sol : calcul du potentiel d'habitat pour la biodiversité

RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'ÉTUDE AGRO-PÉDOLOGIQUE

L'étude a permis de cartographier les typologies de sols, d'évaluer les profils pédologiques, la faune du sol, la végétation, ainsi que le potentiel agronomique par secteur. Deux zones ressortent avec un potentiel élevé : la partie Ouest (points 1 et 5) et l'ancien stade (point 4). Ces informations facilitent l'orientation des usages futurs, notamment pour des pratiques agricoles compatibles avec la réglementation en zone N2.



Potentiel agropédologique du site



Potentiel agropédologique des sols

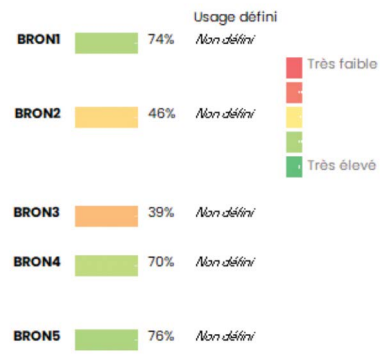


Figure 56 : Potentiel agropédologique et unités typologiques de sols sur le site d'étude © EODD ingénieurs conseils |

EODD
ingénieurs conseils

Potentiel agropédologique

• Sol limono-sablo-argileux compact en profondeur

Potentiel agropédologique des sols

Usage défini : Non défini

BRON4 : 70%

Le potentiel agropédologique de BRON4 est de 74%, soit « élevé » selon l'outil AgriSol, en comparaison à des sols agricoles de grandes cultures. Les principales contraintes sont liées :

- à la CEC faible ;
- aux faibles teneurs en potassium (K), magnésium (Mg) et phosphore (P) ;

Les principaux atouts sont liés :

- à une profondeur élevée ;
- à une texture équilibrée ;
- aux taux de matières organiques et d'azote élevés en surface ;
- aux rapports C/N très favorables en surface.

Potentiel d'infiltration et de rétention en eau

Potentiel d'infiltration des sols

Le potentiel d'infiltration des sols de BRON4 est « élevé », d'après l'outil AquaSol. La perméabilité est « élevée » à avec une valeur de 3,58 cm/h.

Potentiel de rétention en eau des sols

Le potentiel de rétention en eau de BRON4 est « très élevé », d'après l'outil AquaSol, avec une valeur de 166 mm.

BRON4

Potentiel de stockage de carbone

Stock réel de carbone organique VS potentiel de stockage (ép. 30cm max)

Les stocks de carbone de BRON4 sont « faibles » d'après l'outil CarboSol, avec une valeur de 56 tC/ha sur les 30 premiers cm de sol.

Comparaisons à différents usages (ép. 30cm max)

Stock moyen dans sols

Potentiel de biodiversité

Niveaux biologiques de la macrofaune (gauche) et mésofaune (droite)

La macrofaune épigée montre de très bons niveaux de diversité et d'équilibre, avec une abondance élevée. La mésofaune est très peu abondante et diversifiée.

Densité lombricienne

La densité en lombriciens est « élevée ».

Figure 57 : Exemple de fiche synthèse par point de sondage © EODD ingénieurs conseils |

AUTRES DONNÉES D'ENTRÉE

L'analyse a été complétée par d'autres données, écologiques et réglementaires.

Ces éléments ont mis en lumière la nécessité d'intégrer les contraintes réglementaires et les continuités écologiques dès les premières phases de conception.



Figure 58 : Cartographie des habitats écologiques sur le site © Biotope



Figure 59 : Cartographie des enjeux écologiques sur le site © Biotope

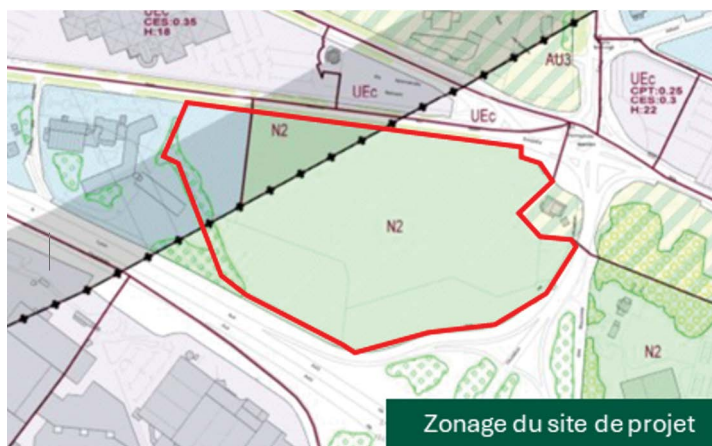


Figure 60 : Zonage réglementaire © Grand Lyon / Essor Transitions



Figure 61 : Inscription dans la trame paysagère territoriale © Grand Lyon / Essor Transitions

DÉCLINAISON DES ACTIONS PAR OBJECTIF PRIORITAIRE DE RE FONCTIONNALISATION

- Création de zones cultivables

Le développement d'une activité agricole pérenne permettrait d'assurer une présence sur site, de limiter les usages illicites et d'assurer une gestion active. L'ancien stade présente à la fois un faible enjeu écologique initial et un fort potentiel agropédologique, ce qui conforte son orientation agricole (permis en zone N2).

Le scénario retenu repose sur le développement d'un maraîchage biologique en contexte agrivoltaïque, appuyé par plusieurs éléments structurants :

- La comptabilité réglementaire en zone N2, avec la condition que le projet ne soit engagé que si la viabilité économique de l'activité agricole seule est garantie ;
- La contribution aux objectifs énergétiques du PCAET, qui visent une multiplication par cinq de la production photovoltaïque d'ici 2030 par vingt à l'horizon 2050 ;
- Le renforcement de l'acceptabilité du photovoltaïque, grâce à une démarche démonstrative illustrant un modèle d'intégration territoriale vertueuse ;
- La mobilisation conjointe des co-bénéfices environnementaux, notamment en matière de biodiversité, de gestion de l'eau, de sobriété foncière et de captation de carbone.

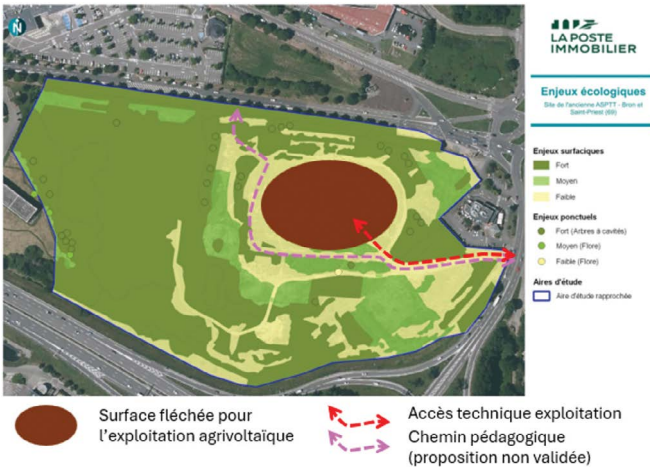


Figure 62 : Surface envisagée pour l'exploitation agrivoltaire © La Poste Immobilier / Essor Transitions

- Accueil de la biodiversité :

Cinq enjeux majeurs structurent des actions spécifiques à prévoir :

- Préserver les pelouses pionnières, riches en diversité floristique ;
- Conserver les arbres à cavités et les milieux arborés, favorables aux chiroptères et oiseaux ;
- Maintenir une mosaïque équilibrée de milieux ouverts, semi-ouverts et fermés ;
- Appliquer les mesures ERC pour garantir la compatibilité entre zones agricoles, installations photovoltaïques et espaces de sensibilisation du public ;
- Gérer les espèces exotiques envahissantes (EEE) via un programme spécifique dès 2026.

Espèces à favoriser en priorité (enjeux forts)

Chiroptères



Noctule commune



Noctule de Leisler



Pipistrelle de Nathusius

Oiseaux



Chardonneret élégant



Linotte mélodieuse



Serin cini

Figure 63 : Espèces à favoriser en priorité © La Poste Immobilier / Biotope



Figure 64 : Espèces végétales exotiques envahissantes © La Poste Immobilier / Biotope

Annexe 6 : Éléments complémentaires sur le test du Référentiel Renaturation à Montpellier

COÛT DE L'ANALYSE AGRO-PÉDOLOGIQUE

Ordre de grandeur du coût d'une analyse agro-pédologique pour 3 points de sondage : entre 10000€ et 12000€ TTC.

Ordre de grandeur du coût de la pose d'enrobé à chaud (remise en état suite analyse sous sol scellé) : entre 1000€ et 2000€ TTC

LISTE DES PARAMÈTRES ANALYSÉS DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE AGRO-PÉDOLOGIQUE

L'étude agro-pédologique est constituée de trois types d'analyse © EODD ingénieurs conseils, 2025 :

- Une analyse pédologique réalisée sur le terrain : trois sondages pédologiques ont été réalisés à la pelle mécanique et décrits sur site (deux sous sol non-scillé et un sous sol scillé). Les paramètres observés sont les suivants :
 - description de l'environnement (topographe, aménagements, état de surface, couvert végétal, litière)
 - nature, épaisseur et limites inférieures des différents horizons
 - origine naturelle ou anthropique des horizons
 - présence éventuelle d'une nappe d'eau permanente ou temporaire
 - texture dominante
 - structure
 - couleur
 - caractère calcaire
 - proportions et caractéristiques des éléments grossiers
 - proportions et natures des éléments anthropiques
 - état de compacité
 - humidité : degré
 - hydromorphie : degré et caractéristiques
- Une analyse agronomique effectuée en laboratoire sur 8 échantillons (3 en horizons de surface, et 5 en horizons profonds). Les paramètres physiques et chimiques étudiés sont les suivants :
 - pH (eau) (NF ISO 10390 ou équivalent)
 - granulométrie (selon la norme NF X 31-107 ou équivalent)
 - teneurs en matières organiques et carbone organique (NF ISO 10694 ou 14235)
 - teneurs en azote total (NF ISO 13878 ou 11261 ou équivalent)
 - rapport C/N
 - teneurs en phosphore assimilable, méthode Olsen (NF X 31160 ou équivalent)

- teneurs en cations échangeables du complexe absorbant (K₂O, CaO, MgO et NaO) (NF X31-108 ou équivalent)
- capacité d'échange cationique (CEC), méthode Metson (NF X 31-130 ou NF ISO 11260 ou équivalent)
- calcaire total/carbonates (NF ISO 10693)
- taux de saturation
- Des analyses biologiques :
 - l'abondance et la diversité spécifiques des lombriciens (inventaire réalisé selon la norme ISO 23611-1 :2018)
 - l'abondance, la diversité spécifique et la diversité fonctionnelle de la macrofaune épigée (inventaire réalisé selon la méthode TSBF-faune active (RMQS-Biodiv))
 - l'abondance, la diversité spécifique et la diversité fonctionnelle de la mésofaune (collembolles) - inventaire réalisé grâce à la méthode d'extraction au Berlèse - Tullgren (Coleman, 2004) ou Mac Fadyen (ISO 23611-2 :2006).

Les résultats bruts ont ensuite été interprétés à l'aide d'outils internes développés par le bureau d'étude, puis fait l'objet de cartographies spécifiques :

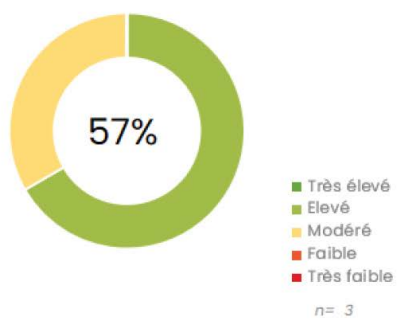
- Agri'Sol : calcul du **potentiel fertile** des sols
- Carbo'Sol : calcul du **potentiel de stockage de carbone**
- Aqua'Sol : calcul du **potentiel d'infiltration** et de rétention de l'eau
- Biodiv'Sol : calcul du **potentiel d'habitat pour la biodiversité**

RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'ÉTUDE AGRO-PÉDOLOGIQUE

L'étude des sols sur le parking du centre commercial a permis d'évaluer à la fois le potentiel agropédologique des sols, le potentiel d'infiltration, le stock de carbone et le potentiel d'habitat pour la biodiversité.

Ces résultats ne tiennent pas compte du caractère imperméabilisé sous enrobé : ils rendent compte du potentiel de fonctionnalité des sols, s'ils étaient descellés.

Potentiel agropédologique moyen des sondages



Potentiel agropédologique des sols

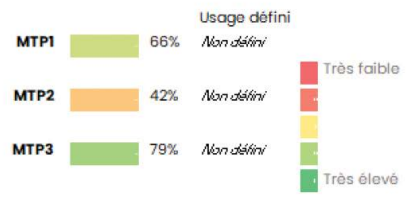
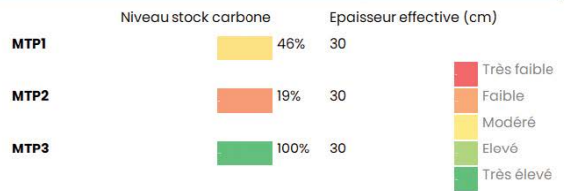


Figure 65 : Potentiel agropédologique global (à gauche) et pour chaque sondage (à droite) © EODD ingénieurs conseils

Stock de carbone des sols (ep. 30cm max)

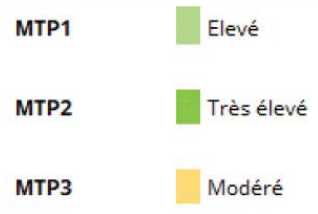


Stock de carbone du sol à l'échelle du site (ep. 30cm)



Figure 66 : Stocks de carbone des sols du site d'étude © EODD ingénieurs conseils

Potentiel d'infiltration des sols



Perméabilité des sols

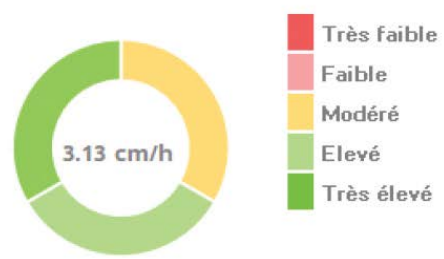


Figure 67 : Potentiel d'infiltration par sondage (à gauche) et perméabilité des sols (à droite) © EODD ingénieurs conseils

Niveaux biologiques de la macrofaune épigée

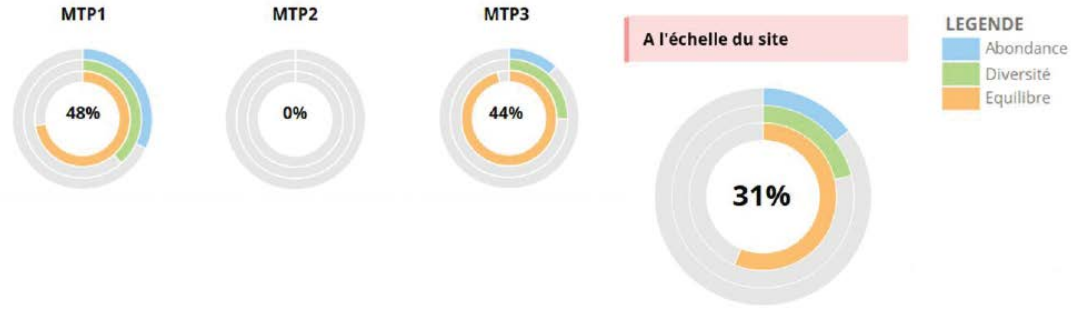


Figure 13 : Niveaux biologiques de la macrofaune épigée du site d'étude - EODD

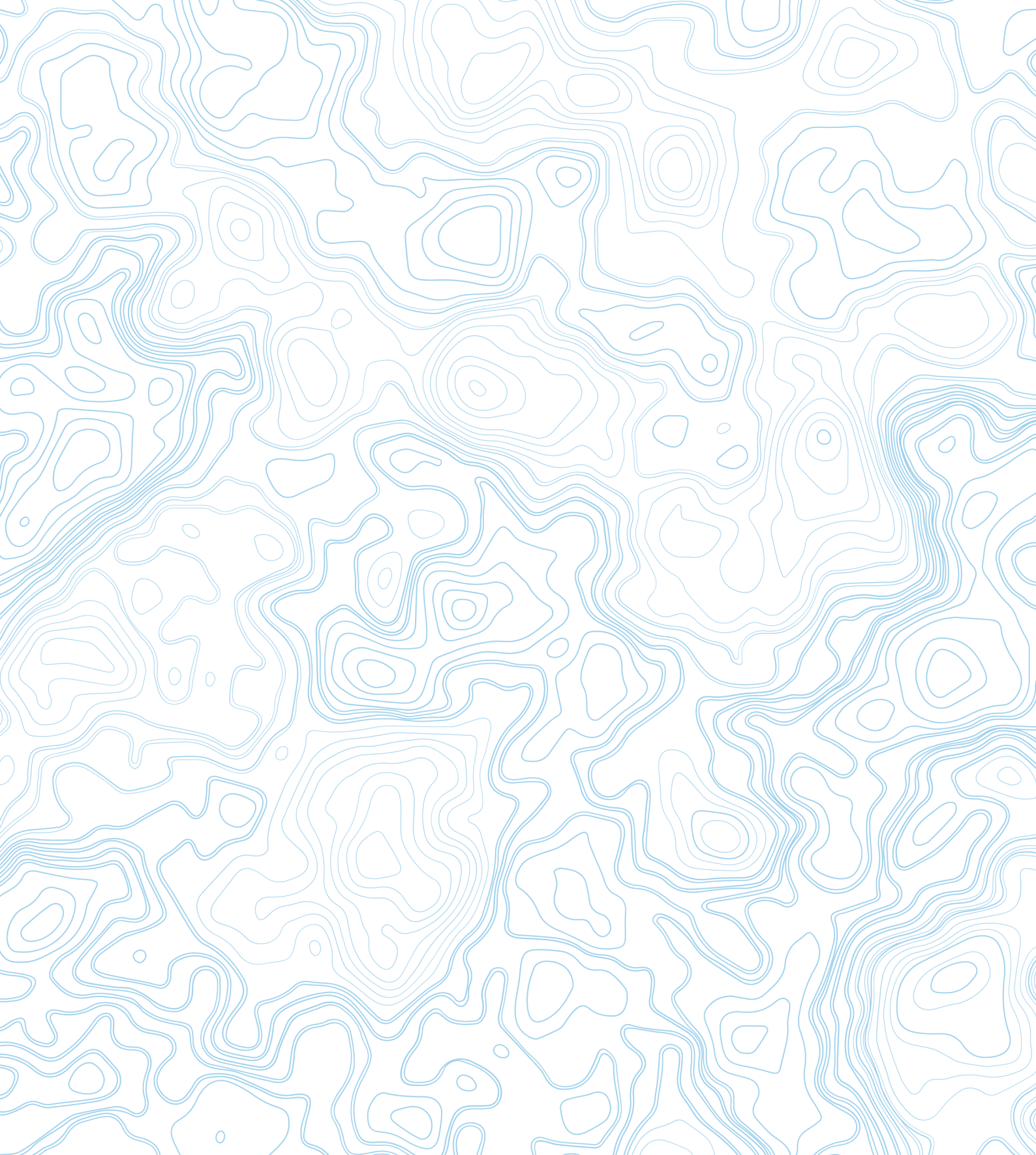
Figure 68 : Niveaux biologiques de la macrofaune épigée du site d'étude © EODD ingénieurs conseils

**Un projet de l'Institut de la Transition foncière, conduit
en collaboration avec ARP Astrance, avec le soutien
d'Icade et de l'ADEME.**

Parution mai 2026



Institut
de la **Transition**
Foncière



Institut
de la **Transition**
Foncière

